



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN SUNGAI
BRANTAS PADA RUAS JALAN TOL SOLO-
KERTOSONO MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE-
STAYED* DENGAN *SINGLE VERTICAL PLANE SEMI-
HARP***

SATYA ANGGRAENY
NRP 3112 100 051

Dosen Pembimbing
Endah Wahyuni, S. T., M. Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN SUNGAI
BRANTAS PADA RUAS JALAN TOL SOLO-
KERTOSONO MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE-
STAYED* DENGAN *SINGLE VERTICAL PLANE SEMI-
HARP***

SATYA ANGGRAENY
NRP 3112 100 051

Dosen Pembimbing
Endah Wahyuni, S. T., M. Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT (RC14-1501)

**PLAN MODIFICATION OF SUNGAI BRANTAS
BRIDGE ON SOLO-KERTOSONO HIGHWAY USING
CABLE-STAYED SYSTEM WITH SINGLE VERTICAL
PLANE SEMI-HARP**

SATYA ANGGRAENY
NRP 3112 100 051

Academic Supervisor
Endah Wahyuni, S. T., M. Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN SUNGAI
BRANTAS PADA RUAS JALAN TOL SOLO-
KERTOSONO MENGGUNAKAN SISTEM *CABLE-
STAYED* DENGAN *SINGLE VERTICAL PLANE SMI-
HARP***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Struktur

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SATYA ANGGRAENY

NRP. 3112 100 051

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.



**SURABAYA
JANUARI, 2017**

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN SUNGAI
BRANTAS PADA RUAS JALAN TOL SOLO-KERTOSONO
MENGUNAKAN SISTEM *CABLE-STAYED* DENGAN
*SINGLE VERTICAL PLANE SEMI-HARP***

Nama Mahasiswa : Satya Anggraeny
NRP : 3112 100 051
Jurusan : Teknik Sipil FTSP – ITS
Dosen Konsultasi : Endah Wahyuni, S. T., M. Sc., Ph. D.

Abstrak

Jembatan *cable-stayed* merupakan salah satu jenis dari jembatan bentang panjang yaitu jembatan dengan bentang lebih dari 100 m. Jembatan jenis ini sudah banyak dibangun di seluruh penjuru dunia karena mampu menopang bentang yang panjang dan proses pembangunannya relatif cepat. Struktur *cable-stayed* terdiri atas gelagar utama yang berfungsi sebagai lantai kendaraan, kabel yang berfungsi untuk menopang gelagar utama dan menyalurkan beban dari gelagar utama ke pilon, dan pilon sebagai penahan beban dari kabel.

Dalam tugas akhir ini direncanakan modifikasi terhadap struktur Jembatan Sungai Brantas pada ruas jalan tol Solo-Kertosono (Desa Lestari, Kecamatan Patianrowo, Kabupaten Nganjuk, Propinsi Jawa Timur) yang semula berupa jembatan *box girder* beton menjadi jembatan *cable-stayed* baja. Jembatan tersebut merupakan jembatan yang mengakomodasi lalu lintas dua arah yang masing-masing arah terdiri dari 3 lajur dengan median diantara jalurnya. Jembatan memiliki panjang *side span* 75 meter kanan-kiri, *main span* 156 meter, dan lebar 14,3 meter untuk tiap lajur. Modifikasi jembatan tersebut direncanakan menggunakan dua buah pilon dengan kabel penopang hanya pada satu bidang

dengan konfigurasi semi-harp. Dalam modifikasi perencanaan ini digunakan material baja untuk gelagar utama dan kabel, serta beton bertulang untuk struktur pilon.

Dari hasil analisis digunakan gelagar *box girder single twin cellular* dengan tebal pelat 2,1 cm, ukuran *ribs* tebal 0,9525 cm, tinggi 25,4 cm, lebar atas 32,385 cm, dan lebar bawah 16,51 cm, serta floorbeam dari profil WF 400 x 400 x 21 x 21 yang dipotong salah satu sayapnya. Jumlah kabel yang digunakan bervariasi pada tiap titik yaitu 6-31C15, 6-31C15, 6-25C15, 6-22C15, dan 4-22C15. Untuk struktur pilon berbentuk segiempat berongga dengan ukuran 3 x 6 m dan tebal rongga 1 m dengan tulangan lentur 570 D-40 dan tulangan geser 14 D-16 - 600 mm. Selain itu dari hasil analisis disimpulkan bahwa struktur dapat memikul beban yang terjadi ditunjukkan dengan tegangan serta gaya dalam yang terjadi lebih kecil dibanding dengan kekuatan nominal struktur. Lendutan yang terjadi pada struktur lebih kecil dari lendutan ijin yaitu sebesar 0,0997 m. Selanjutnya dari analisis dinamis didapatkan bahwa struktur termasuk dalam kategori *acceptable* dan kecepatan angin rencana 30 m/s lebih kecil dari kecepatan angin kritis sebesar 701,690 m/s.

Kata kunci: Modifikasi Perencanaan, Jembatan, *Cable-stayed, Single Vertical Plane, Semi-Harp*.

PLAN MODIFICATION OF SUNGAI BRANTAS BRIDGE ON SOLO-KERTOSONO HIGHWAY USING CABLE- STAYED SYSTEM WITH SINGLE VERTICAL PLANE SEMI-HARP

Student Name : Satya Anggraeny
NRP : 3112 100 051
Department : Teknik Sipil FTSP – ITS
Supervisor : Endah Wahyuni, S.T., M.Sc, Ph.D

Abstract

Cable-stayed bridges are a type of long span bridges with overall span over 100 m. This type of bridge have been built all around the world because of its span that can go over 100 m and it is relatively fast to build. Cable-stayed structure consist of main girder used as a deck, cable to hold the main girder and distribute the load from main girder to pylon, and pylon to bear the load from the cable.

This final project designed a modification of Sungai Brantas Bridge on Solo-Kertosono Highway from previously concrete box girder to be a steel cable-stayed bridge. The bridge accommodate 2 rows with 3 lanes each way and have a median between. The bridge has 75 m side spans, 156 m main span, and 14,3 m wide for each row. The modification including two pylons with single plane semi-harp pattern cables. The materials of the bridge are concrete for the pylon and steel for the cables and the main girder.

The result from the analysis show that the main girder using single twin cellular box girder with steel plate thickness of 2,1 cm, the ribs thickness of 0,9525 cm with the height of 25,4 cm and the top width of 32,385 cm, and the bottom width of 16,51 cm.

The floorbeams were from WF 400 x 400 x 21 x 21 which is cut from one of its flange. The number of strands were from each position as 6-31C15, 6-31C15, 6-25C15, 6-22C15, and 4-22C15. The pylon structure dimension was in box shape of 3 x 6 m with void thickness of 1 m, has 570 D-40 rebar for bending and 14 D-16 – 600 mm rebar for shear.

The analysis concluded that the structure can withstand the external forces, shown by the value of stress and internal force were smaller than the nominal strength of the structure. The deformation of the structure was 0,0997 m which was smaller than the maximum deformation that allowed. The dynamic analysis showed that the structure was categorized as acceptable and the design velocity of wind of 30 m/s was smaller than critical wind velocity of 701,690 m/s.

Keywords: Plan Modification, Bridges, Cable-stayed, Single Vertical Plane, Semi-Harp.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan YME karena atas berkah, rahmat, dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Modifikasi Perencanaan Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono Menggunakan Sistem *Cable-stayed* dengan *Single Vertical Plane Semi Harp*” ini dengan lancar. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan ini antara lain:

1. Tuhan YME yang telah memberikan penulis kesempatan untuk menempuh pendidikan sehingga dapat menyusun laporan tugas akhir.
2. Kedua orang tua penulis yang selalu mendukung dalam penyelesaian laporan tugas akhir.
3. Kakak dan adik penulis yang mendukung dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir.
4. Endah Wahyuni, S.T., M. Sc., Ph. D. sebagai dosen pembimbing yang membantu dalam penyelesaian tugas akhir.
5. Dwi Prasetya, S. T., M. T. sebagai dosen konsultasi yang membantu dalam penyelesaian tugas akhir.
6. Teman-teman Sipil 2012 yang mendukung dan membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir.
7. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan semuanya yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian laporan tugas akhir.

Dalam penyelesaian laporan ini masih terdapat kekurangan dan masih kurang sempurna sehingga diharapkan adanya kritik dan saran dari pembaca agar tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dapat menambah wawasan bagi para pembaca.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Umum	5
2.2. Jembatan Kabel	5
2.2.1. Kabel	6
2.2.2. Gelagar utama.....	11
2.2.3. Pilon	14
2.3. Pembebanan	15
2.4. Stabilitas Aerodinamik.....	15
2.4.1. Osilasi akibat <i>vortex-shedding</i>	17
2.4.2. <i>Flutter</i>	19
2.5. Metode Pelaksanaan.....	22
BAB III METODOLOGI	25
3.1. Umum	25

3.2.	Bagan Alir Perencanaan Struktur Jembatan	26
3.3.	Data Awal dan Studi Literatur.....	27
3.4.	<i>Preliminary Design</i>	29
3.4.1.	Konfigurasi susunan kabel.....	29
3.4.2.	Dimensi kabel.....	29
3.4.3.	Dimensi gelagar.....	29
3.4.4.	Dimensi pilon	29
3.5.	Pembebanan	30
3.5.1.	Analisis statis.....	30
3.6.	Pemodelan Struktur	33
3.7.	Kontrol Kapasitas Struktur.....	33
3.8.	Kontrol Analisis Dinamis	33
3.9.	Metode Pelaksanaan.....	33
3.10.	Penyusunan Gambar Kerja.....	34
BAB IV ANALISIS DATA		35
4.1.	<i>Preliminary Design</i>	35
4.1.1.	Kabel	35
4.1.2.	Gelagar utama.....	42
4.1.3.	Pilon	43
4.2.	Pembebanan.....	45
4.2.1.	Beban mati.....	45
4.2.2.	Beban lalu lintas	45
4.2.3.	Beban lingkungan	48
4.3.	Struktur Sekunder	51
4.3.1.	Pelat lantai kendaraan.....	51
4.3.2.	Perencanaan <i>ribs</i>	53
4.3.3.	Momen yang terjadi pada <i>ribs</i> dan pelat	57
4.3.4.	Perencanaan gelagar melintang (<i>floorbeam</i>).....	66
4.3.5.	Perencanaan kerb dan tiang sandaran	70
4.4.	Pemodelan Struktur	74
4.5.	Analisis Gelagar Utama	75
4.5.1.	Kontrol kekakuan gelagar terhadap <i>lateral buckling</i>	75
4.5.2.	Kontrol terhadap torsi	76

4.5.3. Kontrol terhadap fatik.....	77
4.5.4. Kontrol terhadap gaya aksial	78
4.5.5. Kontrol terhadap tegangan lentur yang terjadi pada gelagar	79
4.5.6. Kontrol lendutan gelagar	79
4.5.7. Perencanaan sambungan las.....	80
4.6. Analisis Kabel	85
4.6.1. Kondisi semua kabel terpasang.....	85
4.6.2. Kondisi salah satu kabel putus.....	88
4.7. Analisis Pilon.....	91
4.7.1. Analisis struktur pilon sebagai kolom.....	92
4.8. Kontrol Dinamis	96
4.8.1. Frekuensi alami struktur	96
4.8.2. Efek <i>vortex-shedding</i>	96
4.8.3. Efek <i>flutter</i>	96
BAB V PENUTUP.....	103
5.1. Kesimpulan.....	103
5.2. Saran.....	103
DAFTAR PUSTAKA.....	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Lokasi jembatan.....	2
Gambar 1.2. Eksisting jembatan.....	2
Gambar 2.1. <i>Parallel-bar cables</i>	6
Gambar 2.2. <i>Parallel-wire cables</i>	7
Gambar 2.3. <i>Stranded cables</i>	8
Gambar 2.4. <i>Locked-coil cables</i>	8
Gambar 2.5. Susunan kabel arah melintang.....	10
Gambar 2.6. Susunan kabel arah memanjang	10
Gambar 2.7. Penampang gelagar utama beton.....	11
Gambar 2.8. Penampang gelagar utama beton.....	12
Gambar 2.9. Penampang gelagar utama baja.....	12
Gambar 2.10. Penampang gelagar utama baja.....	13
Gambar 2.11. Penampang gelagar utama baja-beton komposit	14
Gambar 2.12. Jenis-jenis pilon	14
Gambar 2.13. Gaya yang terjadi akibat gaya angin	16
Gambar 2.14. Koefisien C_T , C_N , dan C_M	17
Gambar 2.15. Proses terbentuknya pusaran angin	17
Gambar 2.16. Kategori struktur jembatan terhadap efek psikologis	19
Gambar 2.17. Deskripsi fenomena <i>flutter</i>	20

Gambar 2.18. Grafik V_{kritis}	21
Gambar 3.1. Bagan alir metodologi perencanaan struktur jembatan.....	27
Gambar 3.2. Jembatan eksisting tampak samping	28
Gambar 3.3. Jembatan eksisting tampak atas	28
Gambar 3.5. Beban truk	31
Gamabr 3.6. Faktor pembesaran dinamis BGT.....	31
Gambar 4.1. Nomenklatur kabel.....	37
Gambar 4.2. Intensitas beban lajur	46
Gambar 4.3. Faktor beban dinamis berdasarkan panjang bentang	47
Gambar 4.4. Grafik respon spektrum wilayah 4	49
Gambar 4.5. Bidang kontak ban truk.....	51
Gambar 4.6. Pembebanan <i>rib</i>	53
Gambar 4.7. Diagram momen <i>rib</i>	53
Gambar 4.8. Penampang <i>ribs</i>	54
Gambar 4.9. Grafik lebar efektif <i>rib</i>	54
Gambar 4.10. Dimensi <i>rib</i>	55
Gambar 4.11. Pembebanan momen pada perletakan	57
Gambar 4.12. Pembebanan momen pada tengah bentang.....	59
Gambar 4.13. Pembebanan roda truk untuk <i>floorbeam</i>	67
Gambar 4.14. Beban F_0	68
Gambar 4.15. Perhitungan momen <i>floorbeam</i>	69

Gambar 4.16. Perencanaan kerb dan tiang sandaran.....	70
Gambar 4.17. Sambungan las sandaran	73
Gambar 4.18. Sambungan las tiang sandaran	74
Gambar 4.19. Pemodelan	75
Gambar 4.20. Penulangan PcaCol	94

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Berat isi dan kerapatan massa	30
Tabel 3.2. Koefisien seret.....	32
Tabel 3.3. Koefisien angin rencana	32
Tabel 4.1. Spesifikasi <i>stranded-cables</i>	35
Tabel 4.2. Perhitungan kebutuhan strand kabel dan jumlah strand pakai.....	40
Tabel 4.3. Perhitungan koreksi nilai elastisitas kabel	42
Tabel 4.4. Gaya pada pylon.....	44
Tabel 4.5. Jumlah lajur rencana berdasarkan lebar jembatan	46
Tabel 4.6. Kecepatan angin rencana.....	48
Tabel 4.7. Koefisien seret.....	48
Tabel 4.8. Kombinasi pembebanan	50
Tabel 4.9. Asc dan P.....	86
Tabel 4.10. Asc*	87
Tabel 4.11. P* dan Pn.....	88
Tabel 4.12. Asc dan P.....	89
Tabel 4.13. Asc*	90
Tabel 4.14. P* dan Pn.....	91

Tabel 4.15. Gaya dalam pilon	92
Tabel 4.16. Urutan pekerjaan	100

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pulau Jawa merupakan pulau dengan jumlah penduduk yang tinggi di Indonesia. Dengan jumlah penduduk yang banyak berpengaruh pada jumlah perpindahan barang dan manusia sehingga dibutuhkan jaringan jalan yang memadai. Oleh karena itu pemerintah Indonesia merencanakan pembangunan Jalan Tol Trans Jawa yang menghubungkan Pulau Jawa bagian barat hingga ke timur.

Salah satu jaringan jalan yang termasuk dalam Jalan Tol Trans Jawa adalah Ruas Jalan Tol Solo- Kertosono. Ruas jalan tol tersebut direncanakan untuk melintasi Sungai Brantas sehingga harus dibangun jembatan beserta jalan pendekat pada lokasi yang ditunjukkan Gambar 1.1. Konstruksi eksisting jembatan pada Gambar 1.2. berupa *box girder* pratekan dengan panjang bentang 299 m terdiri atas *main span* 145 m, dan *side span* 77 m kanan dan kiri. Dengan panjang bentang 299 m jembatan tersebut termasuk dalam kategori jembatan bentang panjang yang bentuk konstruksinya selain *box girder* pratekan dapat berupa konstruksi pelengkung, *cable-stayed*, atau jembatan gantung.

Salah satu jenis konstruksi untuk jembatan bentang panjang berupa konstruksi *cable-stayed* yang terdiri atas gelagar utama, kabel, dan pilon sebagai struktur utama. Gelagar utama berfungsi sebagai lantai kendaraan yang menerima beban lalu lintas di atasnya. Beban tersebut kemudian diterima oleh struktur kabel yang kemudian akan disalurkan pada pilon untuk diteruskan ke pondasi jembatan. Gelagar utama dan pilon bekerja sebagai struktur tekan

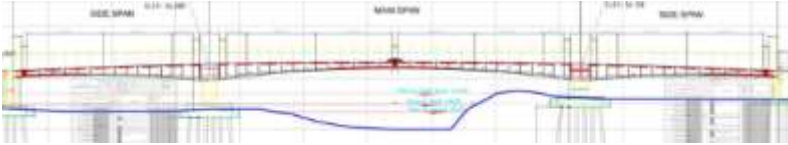
sedangkan kabel bekerja sebagai struktur tarik. Beberapa keuntungan dari konstruksi *cable-stayed* antara lain:

1. Tidak memerlukan blok angkur karena kabel dapat dipasang langsung pada gelagar atau lantai kendaraan
2. Defleksi yang terjadi lebih kecil dibandingkan tipe jembatan gantung, dan juga jembatan sistem *cable-stayed* memiliki kekakuan lebih tinggi
3. Mampu menopang bentang yang sangat panjang dan proses ereksinya dengan cara kantilever bebas

Dengan adanya keuntungan-keuntungan tersebut maka dalam tugas akhir ini akan dilakukan modifikasi pada struktur atas jembatan menggunakan sistem *cable-stayed* dengan *single vertical plane semi-harp*. Modifikasi tersebut akan menimbulkan masalah bagi penulis tentang bagaimana merencanakan Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono menggunakan sistem *cable-stayed* dengan *single vertical plane semi-harp* yang selanjutnya akan dibahas pada tugas akhir ini.



Gambar 1.1. Lokasi Jembatan
(Sumber: PCM Rev Soker)



Gambar 1.2. Eksisting Jembatan
(Sumber: Gambar Kontrak Seksi 4)

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan ditinjau dalam modifikasi Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono dengan sistem *cable-stayed* dapat dibagi sebagai berikut:

1. Permasalahan umum
 - a. Bagaimana merencanakan struktur jembatan menggunakan sistem *cable-stayed* dengan *single vertical plane semi-harp*?
2. Uraian permasalahan
 - a. Bagaimana *preliminary design* dari struktur jembatan?
 - b. Bagaimana perhitungan struktur atas jembatan?
 - c. Bagaimana mengontrol stabilitas aerodinamis jembatan?
 - d. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan perencanaan jembatan ke dalam gambar?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam modifikasi Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono dengan sistem *cable-stayed* dapat dibagi sebagai berikut:

1. Tujuan umum
 - a. Merencanakan struktur jembatan menggunakan sistem *cable-stayed* dengan *single vertical plane semi-harp*

2. Uraian tujuan
 - a. Merencanakan *preliminary design* struktur jembatan
 - b. Melakukan perhitungan struktur atas jembatan
 - c. Melakukan kontrol stabilitas aerodinamis jembatan
 - d. Menuangkan hasil perhitungan perencanaan jembatan ke dalam gambar

1.4 Batasan Masalah

Dalam perencanaan modifikasi Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono dengan sistem cable-stayed diperlukan adanya pembatasan masalah sehingga dapat fokus pada masalah- masalah utama yang akan ditinjau. Batasan- batasan masalah yang direncanakan yaitu:

1. Tidak menghitung rencana anggaran biaya jembatan
2. Tidak merencanakan perkerasan di atas lantai jembatan
3. Tidak merencanakan jalan pendekat jembatan
4. Tidak merencanakan bangunan bawah jembatan

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari perencanaan modifikasi Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono dengan sistem cable-stayed adalah sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai desain alternatif Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono
2. Dapat dijadikan sebagai referensi atau pembanding untuk studi lebih lanjut
3. Bagi penulis, sebagai media penerapan ilmu- ilmu yang didapat dari bangku kuliah

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Jembatan merupakan struktur yang dibangun untuk mengatasi adanya hambatan dalam pembangunan suatu jalan. Hambatan yang dimaksud dapat berupa ruas jalan (*viaduct*) atau perairan seperti sungai, danau, dan laut (*aqueduct*). Terdapat berbagai jenis jembatan yang sudah atau sedang dibangun mulai dari jembatan *culvert* hingga jembatan gantung. Struktur jembatan dengan bentang kurang dari 100 m (jembatan bentang pendek) dapat berupa balok sederhana, rangka batang, *culvert*, atau balok prategang. Sedangkan untuk jembatan dengan bentang lebih dari 100 m (jembatan bentang panjang), struktur dapat berupa pelengkung, *cabl-stayed*, atau jembatan gantung. Penggunaan struktur yang tepat sesuai dengan bentang jembatan akan berdampak pada nilai ekonomi serta fungsi dari jembatan tersebut.

2.2. Jembatan kabel

Salah satu jenis jembatan bentang panjang yang dapat ditemui adalah jembatan kabel. Jembatan jenis ini hanya dikenai beban vertikal pada gelagar utama. Kabel berfungsi menahan gelagar utama sehingga dapat dibangun hingga bentang yang panjang. Struktur dasar dari jembatan jenis ini adalah susunan segitiga berulang yang terdiri dari pilon, kabel, dan gelagar utama. Semua komponen penyusunnya dikenai gaya aksial, dengan struktur kabel dikenai gaya aksial tarik, sedangkan struktur gelagar utama dan pilon dikenai gaya aksial tekan. Panjang bentang utama jembatan kabel adalah 100 m untuk 1 pilon hingga 1100 m untuk 2 pilon (Svensson, 2011). Keuntungan penggunaan jembatan jenis ini antara lain:

1. Dengan adanya transfer beban oleh struktur kabel maka besarnya momen tekuk dapat berkurang (Svensson, 2011)
2. Proses konstruksi jembatan kabel relatif mudah (Svensson, 2011)
3. Jembatan kabel lebih kaku dibandingkan dengan jembatan gantung (Svensson, 2011)

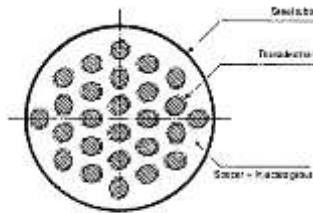
2.2.1. Kabel

a. Jenis kabel

Beberapa jenis kabel yang sering digunakan pada konstruksi *cable-stayed* antara lain:

1. *Parallel-bar cables*

Kabel jenis ini terdiri atas beberapa tendon berupa batang baja yang disusun sejajar pada sebuah selongsong dengan *polyethylene* sebagai pengisi antar jarak ditunjukkan pada Gambar 2.1. Batang baja dapat bergerak bebas pada arah memanjang sehingga memungkinkan proses tensioning secara individual.



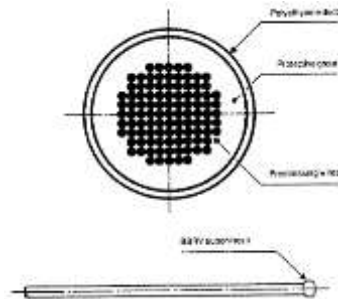
Gambar 2.1. *Parallel-bar Cables*

(Sumber: Walther, 1999)

2. *Parallel-wire cables*

Kabel jenis ini terdiri atas beberapa tendon berupa batang baja yang sudah disusun dan disatukan yang membentuk satu kesatuan seperti ditunjukkan Gambar

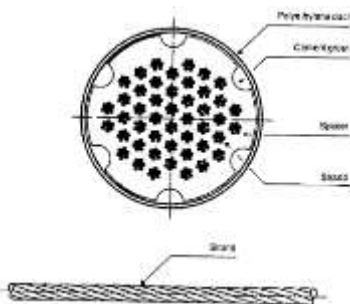
2.2. Tendon-tendon tersebut kemudian ditempatkan pada selongsong logam atau *polyethylene* yang kemudian akan diisi dengan campuran semen.



Gambar 2.2. *Parallel-wire Cables*
(Sumber: Walther, 1999)

3. *Stranded cables*

Ditunjukkan pada Gambar 2.3., jenis kabel ini merupakan selongsong kabel yang di dalamnya berisi beberapa strand kabel. Strand kabel merupakan beberapa batang baja dengan diameter kecil yang disusun dan dipilin sehingga membentuk sebuah tendon.



Gambar 2.3. *Stranded Cables*
(Sumber: Walther, 1999)

4. *Locked-coil cables*

Merupakan jenis kabel yang sering digunakan sebagai kabel vertikal pada jembatan gantung dengan penampang pada Gambar 2.4. Kabel ini terdiri dari strand kabel yang disusun di bagian tengah meneghlilingi sebuah batang baja dan di bagian luarnya di lapisi oleh batang baja berbentuk S.

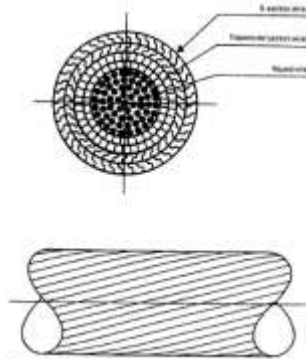


Fig. 2.3. Locked-coil cable

Gambar 2.4. Locked-coil Cables
(Sumber: Walther, 1999)

b. Susunan kabel arah melintang

Pada susunan arah melintang dibedakan menjadi *single plane*, *double plane*, atau *triple plane* seperti pada Gambar 2.5.

1. *Single plane*

Pada konfigurasi *single plane* kabel yang digunakan disusun pada titik tengah struktur arah melintang yang akan menyebabkan terjadinya beban eksentrik pada gelagar utama. Oleh karena itu pada konfigurasi ini dibutuhkan gelagar utama yang cukup kaku.

2. *Double plane*

Pada konfigurasi *double plane*, gelagar utama ditahan oleh struktur kabel pada kedua sisi. Angkur

kabel dapat pasang di bagian dalam atau di luar gelagar utama.

3. *Triple plane*

Konfigurasi *triple plane* memiliki kabel di bagian sisi dan tengah struktur sehingga dibutuhkan lebar gelagar utama yang cukup besar untuk memenuhi lebar minimal jalur yang direncanakan dan bidang untuk menempatkan angkur.

c. Susunan kabel arah memanjang

Untuk susunan kabel arah memanjang dibedakan menjadi tipe *harp*, *fan*, *semi-harp*, dan *assymetrical* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.

1. *Harp*

Pada susunan tipe *harp* kabel dihubungkan dengan pylon dengan jarak berbeda dan sejajar satu sama lain sehingga menyebabkan terjadinya momen tekuk pada pylon. Tipe susunan ini biasanya dipilih karena nilai estetikanya tinggi.

2. *Fan*

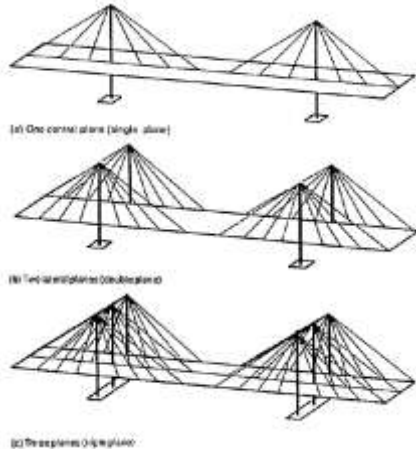
Untuk susunan tipe *fan* semua kabel dihubungkan pada bagian atas pylon dan berat keseluruhan kabel yang digunakan lebih sedikit dibandingkan tipe *harp*. Kelemahan dari susunan tipe *fan* adalah desain dan konstruksi dari kepala pylon yang sulit karena semua kabel ditempatkan di kepala pylon.

3. *Semi-harp*

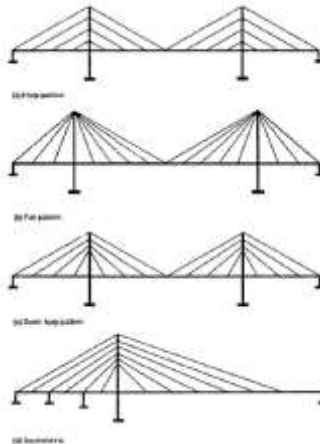
Kombinasi tipe *harp* dan *fan* menghasilkan tipe *semi-harp* dimana kabel diletakkan secara menyebar pada bagian atas pylon. Pada sistem ini sudut yang dibentuk oleh kabel dan pylon lebih kecil dibandingkan pada tipe *harp* sehingga dapat mengurangi kekakuan dari penghubung horizontal antara pylon dan pelat lantai.

4. *Assymetric*

Tipe lainnya yaitu tipe *assymetric* yang biasanya digunakan jika jembatan terpaksa dibangun dengan satu pylon sehingga terjadi perbedaan panjang Antara bentang kanan dan kiri.



Gambar 2.5. Susunan kabel arah melintang
(Sumber: Walther, 1999)



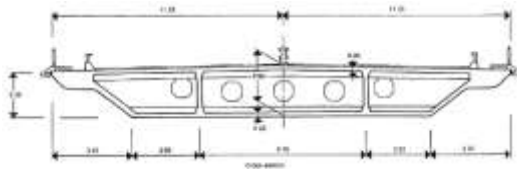
Gambar 2.6. Susunan kabel arah memanjang
(Sumber: Walther, 1999)

2.2.2. Gelagar utama

Beberapa material yang biasa dipakai untuk konstruksi gelagar utama antara lain:

a. Beton

Beton yang digunakan bisa berupa beton *readymix* atau beton *precast*. Dibandingkan dengan gelagar baja atau komposit, gelagar dengan material beton memiliki berat sendiri yang lebih besar akan tetapi proses ereksinya cenderung lebih mudah. Contoh penampang gelagar utama dengan material beton dapat dilihat pada gambar 2.7.






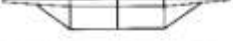



Gambar 2.7. Penampang Gelagar Utama Beton
(Sumber: Walther, 1999)

Bentuk-bentuk gelagar utama dengan material beton dapat dilihat pada Gambar 2.8.

b. Baja

Penggunaan baja sebagai material gelagar utama bisa mengurangi keseluruhan berat struktur jika dibandingkan dengan menggunakan beton karena berat sendiri struktur baja lebih kecil daripada beton. Akan tetapi penggunaan material baja dinilai lebih mahal sehingga diperlukan adanya pembatasan pada penggunaan material baja, misalnya: pada lantai kendaraan digunakan panel *orthotropic* dan kisi-kisi baja sebagai elemen lainnya. Contoh penampang gelagar utama dengan material baja dapat dilihat pada gambar 2.9.

Bentuk-bentuk gelagar utama dengan material baja dapat dilihat pada Gambar 2.10.

Types of main girder		
Arrangement		Deck cross-sections
1	Twin I girder	
2	Single rectangular box girder	
3	Central box girder and side single web girders	
4	Single twin cellular box girder and sloping struts	
5	Single trapezoidal box girder	
6	Twin rectangular box girder	
7	Twin trapezoidal box girder	

Gambar 2.10. Penampang Gelagar Utama Baja
(Sumber: Troitsky, 1988)

c. Beton-baja komposit

Pada gelagar beton-baja komposit, material beton digunakan sebagai lantai kendaraan sedangkan baja digunakan pada elemen struktur yang lain. Penggunaan material beton-baja komposit dapat mempermudah proses ereksi gelagar jembatan serta mengurangi besarnya beban mati yang bekerja pada jembatan. Jika dilihat dari beratnya, struktur yang terbuat dari material beton-baja komposit lebih berat dibanding gelagar baja dan lebih kecil dibanding gelagar beton. Contoh penampang gelagar utama dengan material baja-beton komposit dapat dilihat pada gambar 2.11.

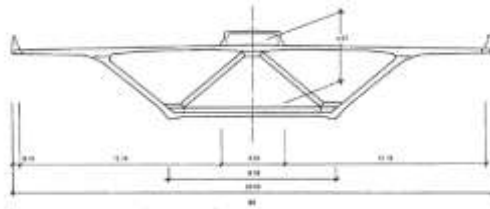


Fig. 2.34. Eurocode Highway, sections for two problems

Gambar 2.11. Penampang Gelagar Utama Baja-beton Komposit
(Sumber: Walther, 1999)

2.2.3. Pilon

Pilon merupakan struktur yang berfungsi untuk menahan beban mati dan hidup yang terjadi. Dalam menentukan besarnya ukuran pilon, maka harus diperhatikan besarnya gaya yang terjadi pada pilon dalam arah memanjang dan melintang. Beberapa jenis pilon yang dibangun untuk jembatan kabel dapat dilihat pada Gambar 2.12.

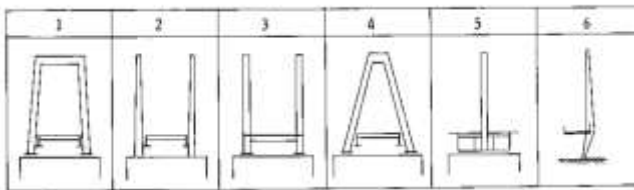


Fig. 1.32. Tower types.
1 Portal tower 4 A-frame tower
2 Twin tower 5 Single tower
3 Twin tower 6 Side tower

Gambar 2.12. Jenis-jenis pilon
(Sumber: Troitsky, 1988)

Pilon pada jembatan *cable-stayed* dapat terbuat dari material baja maupun beton. Penggunaan material baja dinilai lebih mudah dalam proses ereksi sedangkan material beton dinilai lebih murah.

2.3. Pembebanan

Pembebanan pada struktur jembatan berdasarkan RSNI T-02-2005 meliputi:

2.3.1. Beban mati

Beban mati yang diperhitungkan dalam pembebanan struktur berupa beban struktur yang meliputi:

- a. Berat kabel
- b. Berat gelagar utama
- c. Berat pylon

2.3.2. Beban hidup

Beban hidup yang digunakan terdiri dari:

- a. Beban lajur “D”

Terdiri dari beban terbagi rata dan beban garis sebagai perumpamaan beban lalu lintas yang terjadi di atas jembatan.

- b. Beban truk “T”
- c. Beban rem

2.3.3. Beban lingkungan

- a. Beban angin

Beban angin didapatkan dari lokasi rencana jembatan dengan kecepatan angin rencana tertentu.

- b. Beban gempa

Beban gempa didapatkan dari lokasi rencana jembatan dengan diagram respon spektrum menyesuaikan.

2.4. Stabilitas Aerodinamik

Stabilitas aerodinamik dilakukan untuk mengetahui perilaku angin terhadap struktur. Perilaku aerodinamik terjadi karena bentang jembatan yang relatif besar. Aliran angin yang mengenai struktur jembatan dapat mengakibatkan terjadinya osilasi torsi dan lentur. Selain itu besarnya sudut datang angin terhadap struktur jembatan juga dapat mempengaruhi terjadinya gaya angkat. Hal pertama yang harus dilakukan pada kontrol stabilitas aerodinamik adalah mengetahui besarnya frekuensi alam struktur.

Pada bagian struktur yang dikenai gaya angin akan terjadi gaya statis yang terbagi menjadi 3, yaitu beban horizontal (T), beban vertikal (N), dan momen torsi (M) seperti ditunjukkan Gambar 2.13.

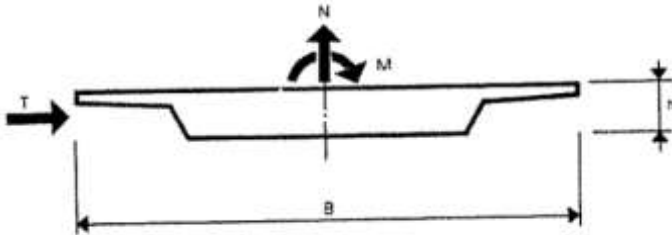


Fig. 7.7.

Gambar 2.13. Gaya yang terjadi akibat gaya angin
(Sumber: Walther, 1999)

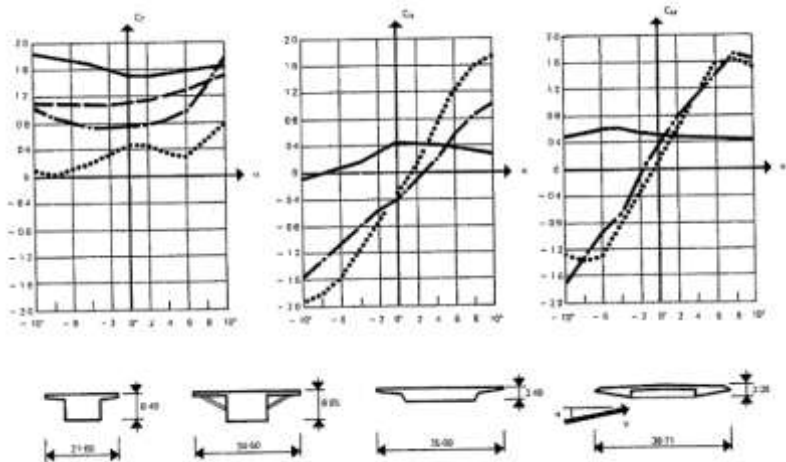
Ketiga gaya tersebut (Gambar 2.13.) bergantung pada faktor tekanan angin (q), bentuk penampang yang berpengaruh pada koefisien C_T , C_N , dan C_M , serta besarnya sudut datang angin terhadap struktur (α) (Walther, 1988). Sehingga gaya-gaya tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = C_T \cdot q \cdot h \cdot l \quad (2.1)$$

$$N = C_N \cdot q \cdot h \cdot l \quad (2.2)$$

$$M = C_M \cdot q \cdot h \cdot l \cdot B \quad (2.3)$$

dengan l adalah panjang struktur. Nilai koefisien C_T , C_N , dan C_M tergantung pada penampang gelagar utama jembatan seperti ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. Koefisien C_T , C_N , dan C_M
(Sumber: Walther, 1999)

2.4.1. Osilasi akibat vortex-shedding

Terjadinya fenomena vortex-shedding (Gambar 2.15.) digambarkan sebagai terbentuknya pusaran angin pada saat angin mengalir di sekitar silinder yang diam. Setiap pusaran angin yang terbentuk akan mengakibatkan terjadinya gaya lateral yang bekerja pada silinder. Dalam pemodelan aerodinamik jembatan cable-stayed, silinder yang diam dapat dianggap sebagai penampang gelagar jembatan.



Gambar 2.15. Proses terbentuknya pusaran angin
(Sumber: Troitsky, 1988)

Dalam sebuah studi yang dilakukan oleh Von Karman, efek dari vortex-shedding dapat dievaluasi menggunakan angka Reynolds (Re) dan angka Strouhal (S). angka Strouhal digunakan untuk mengetahui besarnya

kecepatan angin sedangkan angka Reynold digunakan untuk mengetahui apakah struktur berada dalam rentang nilai $10^5 < Re < 10^7$ seperti disyaratkan.

$$Re = \frac{V \cdot B}{\nu} \quad (2.4)$$

$$S = \frac{f \cdot h}{V} \quad (2.5)$$

untuk:

V : kecepatan angin

B : lebar gelagar utama

ν : viskositas kinematis udara ($0,15 \text{ cm}^2/\text{det}$)

h : tinggi gelagar utama

f : frekuensi pusaran angin

Besarnya frekuensi yang ditinjau ada dua, yaitu frekuensi akibat lentur dan torsi:

$$f_B = \frac{1,1}{2\pi} \left(\frac{g}{v_{\max}} \right)^{1/2} \quad (2.6)$$

$$f_T = \frac{\bar{b}}{2r} f_B \quad (2.7)$$

Untuk:

f_B : frekuensi akibat lentur

f_T : frekuensi akibat torsi

g : gaya gravitasi

v_{\max} : deformasi statik maksimum

\bar{b} : jarak antar kabel arah horizontal

r : radius girasi

Setelah diketahui besarnya kecepatan angin kemudian dilakukan perhitungan gaya angkat dengan menggunakan rumus:

$$F_0 = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \times C_h$$

Untuk:

F_0 : gaya angkat

R : berat jenis udara ($1,3 \text{ kg/m}^3$)

V : kecepatan angin (m/s)

Ch : koefisien gaya angkat C_N (gambar 2.14)

Setelah didapat gaya angkat angin terhadap struktur dapat dihitung besarnya amplitude osilasi dengan rumus:

$$\hat{v} = \frac{\pi}{\delta} \cdot \frac{F_0}{m} \cdot v_{\max}$$

Untuk:

\hat{v} : amplitude osilasi (mm)

δ : peredaman (asumsi sebesar 0,05)

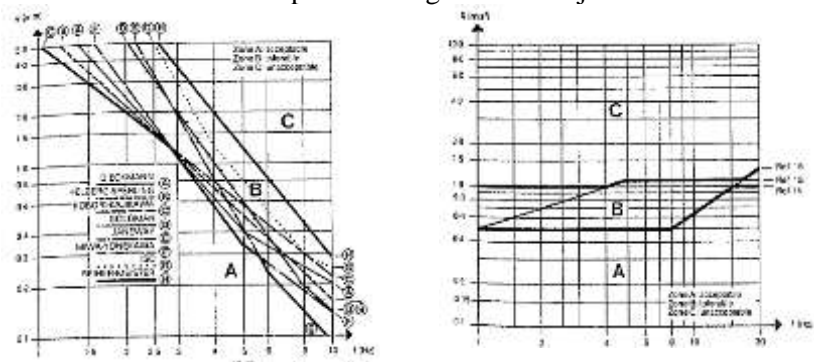
F_0 : gaya angkat

m : berat sendiri struktur per satuan panjang

v_{\max} : besarnya perpindahan maksimum akibat

berat sendiri struktur

Hasil tersebut kemudian diplotkan pada gambar 2.16. untuk mendapatkan kategori struktur jembatan.

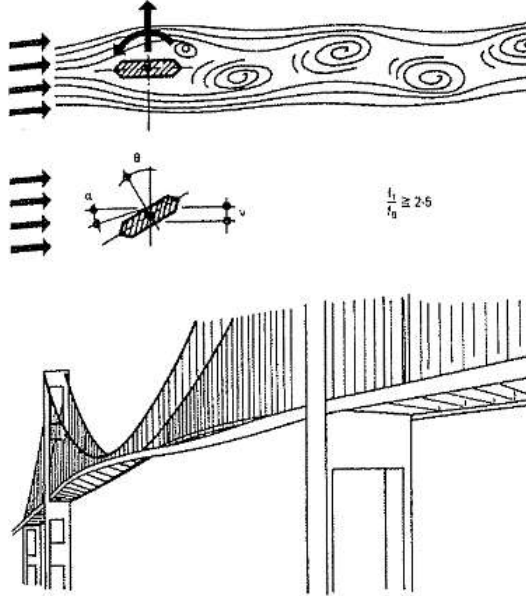


Gambar 2.16. Kategori struktur jembatan terhadap efek psikologis
(Sumber: Walther, 1999)

2.4.2. Flutter

Flutter merupakan sebuah keadaan dimana gelagar mengalami tekanan dari angin dengan kecepatan tertentu sehingga mengalami perpindahan dan torsi yang jika nilainya terlalu besar akan mengakibatkan deformasi yang berlebihan dan mengarah pada kerusakan struktur. Untuk meminimalisasi terjadinya flutter maka struktur harus

direncanakan berdasarkan kecepatan angin rencana yang lebih kecil dibanding kecepatan angin kritis yang mampu ditahan struktur. Deskripsi fenomena flutter dapat dilihat pada Gambar 2.17. Dalam kontrol efek flutter dengan menggunakan metode Kloeppel akan didapatkan besarnya kecepatan angin maksimum yang dapat diterima struktur.



Gambar 2.17. Deskripsi Fenomena Flutter
(Sumber: Walther, 1999)

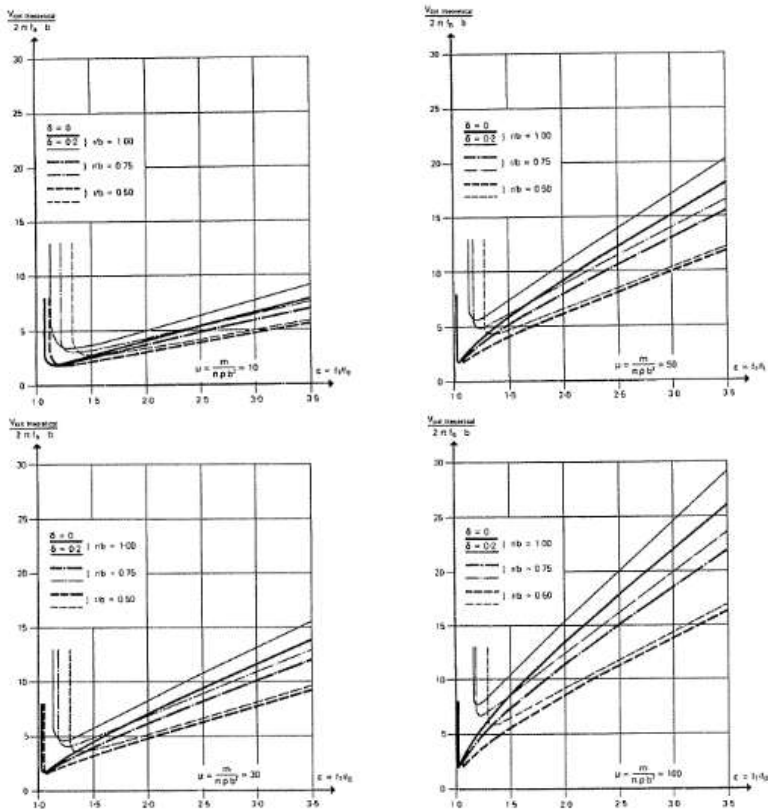
Dalam analisis efek flutter akan dihitung besarnya kecepatan angin kritis yang dapat ditahan oleh jembatan dengan menggunakan gambar 2.18. yang bergantung pada nilai parameter ε , μ dan r/b dengan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{f_T}{f_B}$$

$$\mu = \frac{m}{\pi \cdot \rho \cdot b^2}$$

Untuk:

- f_T : frekuensi torsi (Hz)
 f_B : frekuensi lentur (Hz)
 m : berat sendiri struktur per satuan panjang
 ρ : berat jenis udara ($1,3 \text{ kg/m}^3$)
 b : lebar jembatan
 r : radius girasi



Gambar 2.18. Grafik v_{kritis}
(Sumber: Walther, 1999)

2.5. Metode Pelaksanaan

Dalam proses konstruksi jembatan cable-stayed terdapat tiga metode yang biasanya digunakan, yaitu:

1. *Cantilever method*

Pelaksanaan menggunakan metode kantilever biasanya digunakan untuk struktur jembatan dengan material beton atau baja dengan tinggi bebas yang besar sehingga kurang memungkinkan untuk penggunaan perancah. Untuk jembatan dengan gelagar utama dari material beton urutan pekerjaan dimulai dengan pemasangan *traveler* pada bagian abutmen, pemasangan bekisting, pemasangan ducting kabel pada gelagar utama, pengecoran gelagar utama, pemasangan kabel dan dilanjutkan *jacking* kabel, kemudian *launching traveler*. Proses tersebut dilangi hingga kedua sisi jembatan bertemu di tengah. Sedangkan untuk jembatan dengan gelagar utama dari material baja pelaksanaannya hampir sama hanya pada proses pemasangan bekisting diganti menjadi pemasangan profil dilanjutkan dengan pengelasan atau penyambungan dengan segmen sebelumnya, serta tidak ada proses pengecoran.

2. *Staging method*

Metode staging biasanya digunakan pada lokasi jembatan dengan lalu lintas yang tidak terlalu padat dan tinggi bebasnya memungkinkan untuk pemasangan menggunakan perancah. Pada metode ini setiap segmen jembatan dicor dengan menggunakan bekisting yang ditahan oleh perancah. Kabel dapat dipasang pada saat pengecoran beton atau pengelasan baja (tergantung material gelagar utama) dan di *jacking* setelah konstruksi gelagar utama selesai.

3. *Push-out method*

Untuk jembatan yang berada di lokasi dengan lalu lintas berat atau tinggi bebas cukup besar selain menggunakan metode kantilever juga dapat menggunakan metode push-out. Dalam metode ini semua komponen struktur segmen pertama jembatan dirakit terlebih dahulu kemudian diletakan di atas abutmen yang sudah diberi penahan sementara. Setelah itu dilakukan penyambungan segmen selanjutnya dan jika sudah selesai maka rangkaian tersebut akan di dorong sehingga segmen kedua yang tepat berada di atas abutmen. Proses tersebut dilakukan berulang kali sehingga segmen pertama mencapai abutmen di sisi lain.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

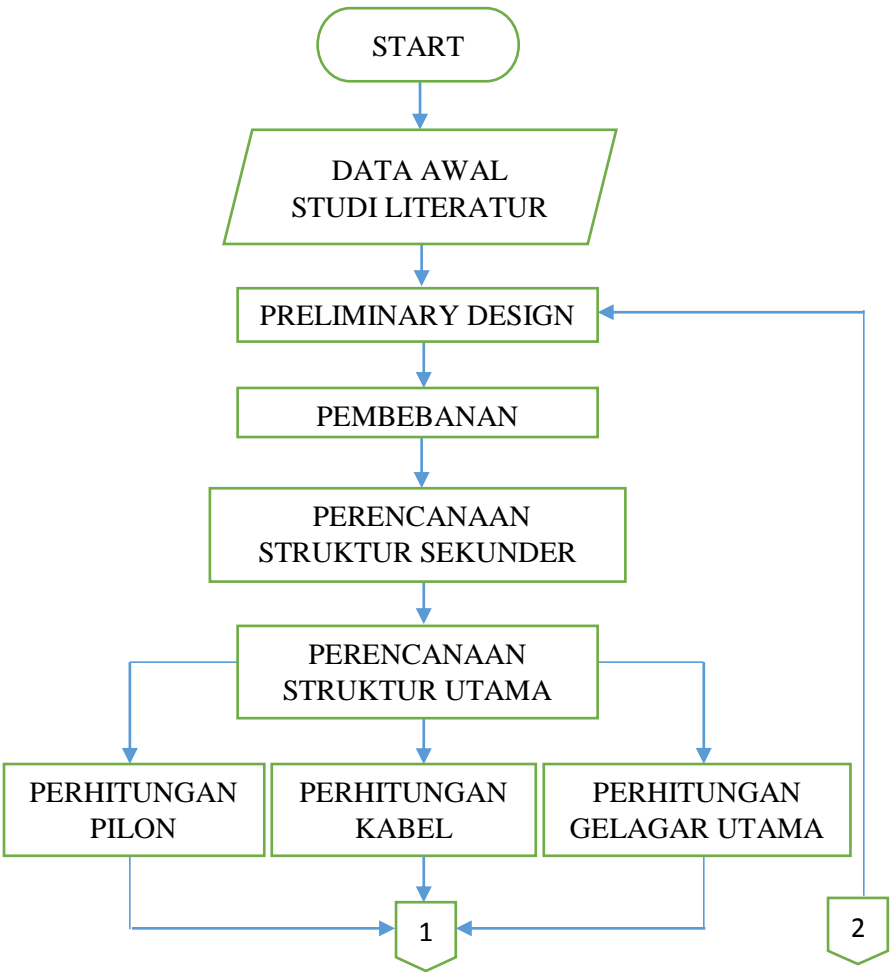
METODOLOGI

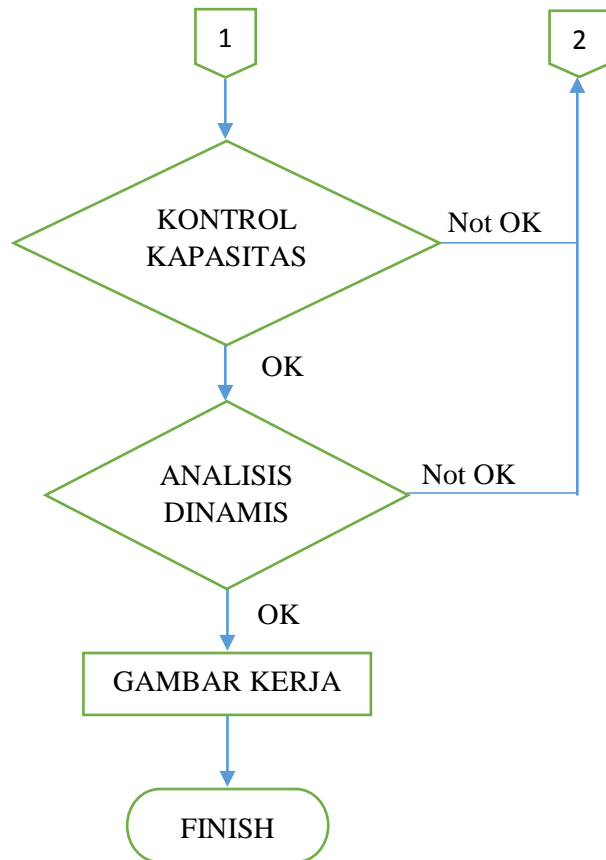
3.1. Umum

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan modifikasi perencanaan Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono menggunakan sistem cable-stayed dengan spesifikasi desain sebagai berikut:

1. Konstruksi jembatan berada di bagian Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono, Desa Lestari, Kecamatan Patianrowo, Kabupaten Nganjuk.
2. Geometri jembatan direncanakan berbentuk lurus memotong sungai berbeda dari geometri jembatan eksisting yang sedikit melengkung.
3. Panjang *side span* dan *main span* diubah dari jembatan eksisting yang semula 77 meter dan 145 meter menjadi 75 meter dan 156 meter.
4. Konfigurasi kabel arah transversal menggunakan *single vertical plane* dan longitudinal berupa *semi-harp*.
5. Direncanakan struktur pilon berjumlah 2 buah yang berada di masing-masing akhir *main span* dan terbuat dari material beton bertulang berbentuk segiempat.
6. Gelagar utama berupa boks baja dengan bentuk *single twin cellular box girder*.

3.2. Bagan Alir Perencanaan Struktur Jembatan





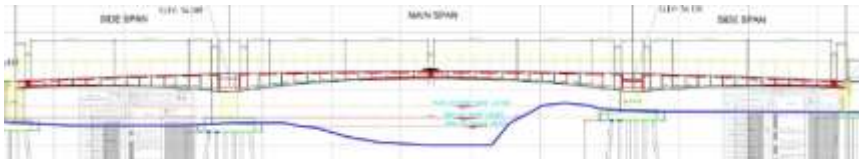
Gambar 3.1. Bagan Alir Metodologi Perencanaan Struktur Jembatan

3.3. Data Awal dan Studi Literatur

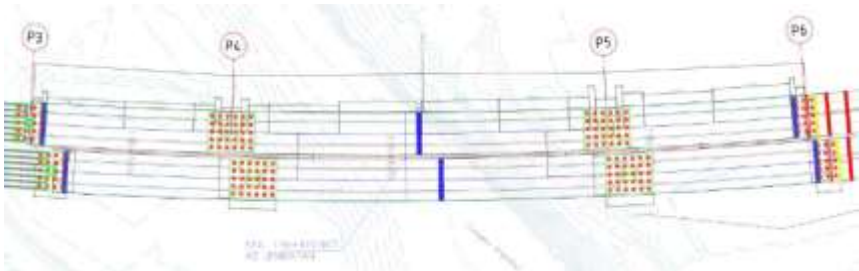
Data awal yang digunakan pada modifikasi perencanaan ini berupa data eksisting Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono sebagai berikut:

1. Konstruksi jembatan berada pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono, Desa Lestari, Kecamatan Patianrowo, Kabupaten Nganjuk.
2. Geometri jembatan berbentuk sedikit melengkung memotong sungai.
3. Panjang side span 77 meter kanan-kiri dan main span 145 meter.
4. Terdapat dua buah jembatan dengan lebar masing-masing 16,3 meter yang digunakan untuk 2 jalur berbeda.
5. Struktur berupa jembatan beton prategang dengan dek berupa *box girder* beton prategang.

Gambar eksisting jembatan dapat dilihat pada Gambar 3.2. dan 3.3.



Gambar 3.2.Jembatan Eksisting Tampak Samping
(Sumber: Gambar Kontrak Seksi IV)



Gambar 3.3.Jembatan Eksisting Tampak Atas
(Sumber: Gambar Kontrak Seksi IV)

3.4. Preliminary Design

3.4.1. Konfigurasi susunan kabel

Pada modifikasi perencanaan Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono menggunakan sistem *cable-stayed* digunakan konfigurasi *single vertical plane* pada arah transversal dan konfigurasi *semi-harp* pada arah longitudinal. Jarak penempatan kabel pada gelagar utama dengan material baja sebesar 15 – 25 m sedangkan untuk gelagar utama dengan material beton sebesar 5 – 10 m (Walther, 1999). Taksiran awal jarak penempatan kabel sebesar 15 m arah gelagar utama.

3.4.2. Dimensi kabel

Desain kabel digunakan *stranded-cables* Ø 15,2 mm ASTM A 416-74 Grade 270 dengan tegangan putus minimal 1860 MPa.

3.4.3. Dimensi gelagar

Dimensi gelagar merupakan taksiran awal dari struktur yang dipakai. Untuk struktur utama (boks baja):

$$\frac{1}{50}L \geq h \geq \frac{1}{70}L \text{ (Walther, 1999)} \quad (3.1)$$

dengan L adalah panjang bentang utama dan h adalah tinggi gelagar utama. Taksiran awal tinggi gelagar utama sebesar 2,5 m atau 1/60 bentang utama. Selain itu direncanakan gelagar dengan bentuk *single twin cellular box girder*.

3.4.4. Dimensi pylon

Pada modifikasi perencanaan pylon yang digunakan berupa single tower dari material beton bertulang dengan tinggi ideal:

$$\frac{h}{L} = 0.2 \text{ (Podolny, 1986)} \quad (3.2)$$

dengan L adalah panjang bentang utama dan h adalah tinggi pylon. Taksiran awal tinggi pylon adalah 32 m dari

permukaan lantai kendaraan dan direncanakan berbentuk segiempat.

3.5. Pembebanan

Untuk modifikasi perencanaan jembatan dengan metode cable-stayed digunakan dua macam analisis yaitu analisis statis dan analisis dinamis.

3.5.1. Analisis statis

Analisis statis digunakan untuk variasi gaya-gaya dalam elemen pendukung beban seperti gelagar, kabel, dan pilon. Beban-beban yang diperhitungkan dalam analisis statis antara lain:

a. Beban tetap

1. Berat sendiri

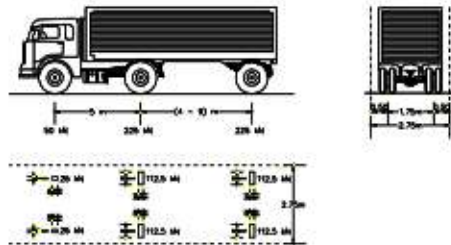
Berat sendiri merupakan berat material dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural dan non-struktural. Berikut tabel 3.1 berat isi dan kerapatan massa.

Tabel 3.1 Berat isi dan kerapatan massa

No.	Bahan	Berat/Batuan Isi (kN/m ³)	Kerapatan Massa (kg/m ³)
1	Campuran beton	24.7	2720
2	Lapisan permukaan beton	22.5	2045
3	Besi tuang	71.3	7200
4	Terdapur Hardsol	17.2	1760
5	Korok diperkakan	18.8-22.7	1920-2120
6	Agar beton	22.5	2240
7	Beton ringan	12.25-19.6	1250-2000
8	Beton	22.5-25.0	2240-2300
9	Beton precast	25.0-26.0	2500-2640
10	Beton bertulang	23.5-25.5	2400-2600
11	Tembok	11.1	1140
12	Lumpur lepas	12.8	1280
13	Batu penerangan	23.5	2400
14	Kapur	11.3	1150
15	Pasir halus	15.7-17.2	1600-1760
16	Pasir kasar	18.6-18.8	1840-1920
17	Lumpur lunak	17.2	1760
18	Sisa	77.2	7850
19	Kayu (ringan)	7.8	800
20	Kayu (berat)	11.0	1120
21	Air murni	9.8	1000
22	Air garam	10.5	1025
23	Besi tempa	73.5	7480

1. Beban truk “T”

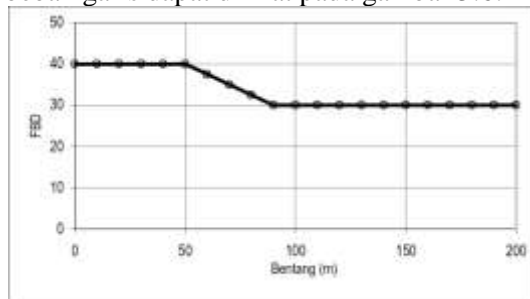
Beban truk “T” (gambar 3.5) ditempatkan di tengah lajur lalu lintas rencana.



Gambar 3.5. Beban truk
(sumber: RSNI T-02-2005)

2. Faktor pembesaran dinamis

Faktor pembesaran berlaku untuk beban garis pada beban “D” dan beban truk “T”. Nilai faktor pembesaran untuk beban truk “T” sebesar 0.3 dan untuk beban garis dapat dilihat pada gambar 3.6:



Gambar 3.6. Faktor pembesaran dinamis BGT
(sumber: RSNI T-02-2005)

b. Beban lingkungan

1. Beban angin

Gaya nominal pada jembatan akibat angin tergantung pada kecepatan angin rencana:

$$T_{ew} = 0.0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \text{ (kN)} \quad (3.5)$$

Keterangan:

C_w : koefisien seret (tabel 3.2)

V_w : kecepatan angin sesuai lokasi perencanaan (tabel 3.3)

A_b : luas bagian samping jembatan (m²)

Apabila suatu kendaraan sedang berada di atas jembatan maka beban garis merata horizontal pada permukaan lantai perlu ditambah seperti rumus:

$$T_{ew} = 0.0012 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \text{ (kN)} \quad (3.6)$$

Tabel 3.2 Koefisien seret

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas masif: (1), (2)	
$b/d = 1.0$	2.1 (3)
$b/d = 2.0$	1.5 (3)
$b/d \geq 6.0$	1.25 (3)
Bangunan atas rangka	1.2
CATATAN (1) b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang masif	
CATATAN (2) Untuk harga antara dari b/d bisa diinterpolasi linier	
CATATAN (3) Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar 3 % untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5 %	

Tabel 3.3 Kecepatan angin rencana

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya Layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

3.6. Pemodelan Struktur

Pemodelan dan analisa struktur menggunakan program bantu yang berbasis *finite element* untuk menganalisa gaya dalam pada struktur berdasarkan beban yang terjadi serta dimensi tiap-tiap komponen struktur yang telah direncanakan.

3.7. Kontrol Kapasitas Struktur

Kontrol pada struktur utama meliputi beberapa aspek yang akan ditinjau, yaitu kuat lentur, kuat geser, torsi, aksial, dan deformasi. Tahapan ini dilakukan dengan membandingkan kekuatan material penyusun, gaya dalam yang terjadi, serta perhitungan berdasarkan peraturan yang berlaku.

3.8. Kontrol Analisis Dinamis

Pada tahapan kontrol analisis dinamis akan dilakukan perhitungan frekuensi alam struktur. Frekuensi alam struktur diperlukan untuk mengetahui besarnya kecepatan angin maksimum yang dapat diterima oleh struktur. Jika diperoleh kecepatan angin rencana (Tabel 3.3) lebih kecil maka dapat disimpulkan bahwa struktur aman begitu pula sebaliknya.

3.9. Metode Pelaksanaan

Pada modifikasi perencanaan Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono menggunakan sistem *cable-stayed* digunakan metode pelaksanaan dengan cara *cantilever method*. Metode pelaksanaan ini digunakan karena tinggi bebas jembatan cukup besar sehingga kurang memungkinkan untuk melakukan pemasangan menggunakan perancah.

3.10. Penyusunan Gambar Kerja

Dari hasil perencanaan, perhitungan, dan kontrol dimensi elemen struktur jembatan maka dapat diperoleh gambar kerja yang terdiri dari:

1. Denah
2. Tampak samping
3. Tampak depan
4. Potongan memanjang
5. Potongan melintang
6. Detail struktur utama
7. Detail struktur sekunder
8. Detail sambungan
9. Konfigurasi kabel
10. Detail pengangkuran

BAB IV

ANALISIS DATA

4.1. Preliminary Design

Preliminary design merupakan langkah awal untuk menentukan dimensi struktur. Proses ini akan menghasilkan dimensi taksiran struktur yang meliputi dimensi kabel, gelagar utama, dan pylon.

4.1.1. Kabel

Konfigurasi kabel yang digunakan pada modifikasi perencanaan Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Tol Solo-Kertosono ini adalah *single vertical plane* untuk arah melintang dan konstruksi *semi-harp* pada arah memanjang.

▪ Material

Kabel yang digunakan berupa *stranded-cables* yang tersusun dari 7 buah kawat $\varnothing 15,2$ mm ASTM A 416-74 Grade 270 dengan spesifikasi pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Spesifikasi Stranded-cables
(Sumber: Walther, 1999)

Nominal diameter:	12,7	15,2 *	15,7 *	17,8
mm	0,5	0,6	0,6	0,7
inch				
Standard	SIA 162	ASTM A 416-74 Grade 270	Euronome 138-79	SIA 162
Nominal cross section of steel (mm ²)	100	140	150	195
0,2 % proof stress, t ₀₂ (N/mm ²)	(1500)**	(1500)**	(1500)**	(1500)**
	1640	1670	1570	1590
	(1700)**	(1700)**	(1700)**	(1700)**
Ultimate strength, b ₂ (N/mm ²)	(1700)**	(1700)**	(1700)**	(1700)**
	1820	1860	1770	1770
	(1900)**	(1900)**	(1900)**	(1900)**
Ultimate load per strand (kN)	182	260,4	265,5	345,2
Service load per strand (at 0,45 b ₂) (kN)	81,9	117,2	119,5	155,3

* Usual strands

** Limiting values guaranteed by the manufacturers

▪ Jarak pemasangan

Pada modifikasi perencanaan ini direncanakan konstruksi gelagar utama dari material baja,

sehingga disarankan agar jarak mendatar antar kabel sebesar 15-25 m (Walther, 1999) dan diambil jarak antar kabel sebesar 15 m.

■ Jumlah *strand*

Jumlah *strand* yang terpasang pada tiap rangkaian kabel tergantung pada besarnya sudut yang terbentuk antara kabel dan lantai kendaraan, jarak pemasangan kabel, serta besarnya gaya pada angkur seperti dirumuskan sebagai berikut:

$$A_{sc} = \frac{(W \cdot \lambda + P) \cdot \cos \alpha}{\frac{0,8 \cdot f_u \cdot \sin 2\alpha}{2} - \gamma \cdot a}$$

Keterangan:

A_{sc} : luas kabel yang diperlukan

W : beban mati dan hidup merata

λ : jarak pemasangan kabel

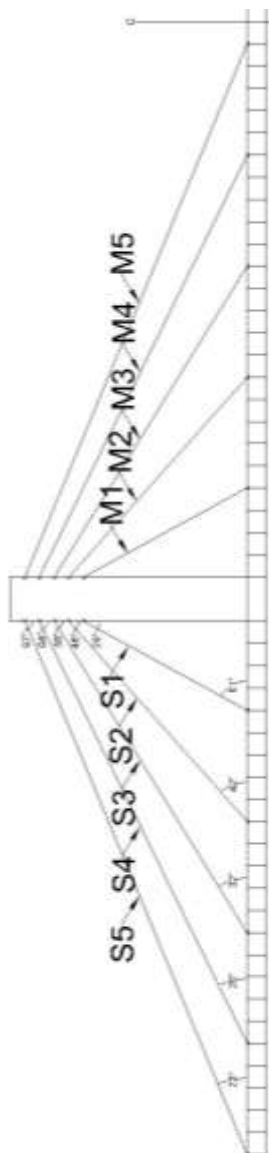
P : beban hidup terpusat dan gaya akibat angkur (asumsi gaya akibat angkur 500 kg)

α : sudut antara kabel dan lantai kendaraan

f_u : tegangan batas kabel ($1860 \times 10^5 \text{ kg/m}^2$)

γ : berat jenis kabel (7850 kg/m^3)

A : jarak mendatar kabel terhadap pylon (m)



Gambar 4.1. Nomenklatur Kabel

Contoh perhitungan jumlah *strand* kabel:

Beban mati:

- Deck:

$$q = 7850 \times 120,5 \times 0,03 \times 1,1$$

$$q = 31215,525 \text{ kg/m}$$

- Perkerasan:

$$q = 2200 \times 14,3 \times 0,05 \times 2 \times 2$$

$$q = 6292 \text{ kg/m}$$

- Trotoar:

$$q = 2400 \times 1 \times 0,25 \times 2 \times 1,3$$

$$q = 1560 \text{ kg/m}$$

- Median:

$$q = 2400 \times 3,5 \times 0,25 \times 1 \times 1,3$$

$$q = 2730 \text{ kg/m}$$

- Ribs :

$$q = 7850 \times 0,006643 \times 1 \times 51 \times 1,1$$

$$q = 2925,287 \text{ kg/m}$$

- Air hujan:

$$q = 1000 \times 14,3 \times 0,05 \times 2 \times 2$$

$$q = 2860 \text{ kg/m}$$

- Jumlah beban mati yang bekerja:

$$W = 47582,812 \text{ kg/m}$$

Beban hidup:

- Terbagi rata:

Besarnya intensitas beban hidup terbagi rata sebesar 4,941 kPa dan didapatkan beban yang bekerja sebesar:

$$q_{BTR} = (100\% \cdot 4,941 \cdot 13,75 \cdot 1,3 \cdot 1,8) + (50\% \cdot 4,941 \cdot 1,55 \cdot 1,3 \cdot 1,8)$$

$$q_{BTR} = 167,937 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{BTR} = 16793,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Terpusat:
 $q_{BGT} = (100\% \cdot 49 \cdot 13,75 \cdot 1,3 \cdot 1,8) +$
 $(50\% \cdot 49 \cdot 1,55 \cdot 1,3 \cdot 1,8)$
 $q_{BGT} = 1665,437 \text{ kN}$
 $q_{BGT} = 166543,7 \text{ kg}$

Perhitungan jumlah *strand* pada kabel M1 dengan data sebagai berikut:

$$\lambda = 15 \text{ m}$$

$$\alpha = 61^0$$

$$a = 15 \text{ m}$$

$$A_{sc} = \frac{((47582,812 + 16793,7) \cdot 15 + 166543,7 + 500) \cdot \cos 61}{\frac{0,8 \cdot 1860 \cdot 10^5 \cdot \sin(2 \cdot 61)}{2} - 7850 \cdot 15}$$

$$A_{sc} = 0,011109 \text{ m}^2$$

$$= 11109 \text{ mm}^2$$

Jika 1 *strand* kabel memiliki luas $A = 140 \text{ mm}^2$, maka jumlah *strand* yang dibutuhkan adalah:

$$n = \frac{A_{sc}}{A} = \frac{11109}{140} = 80 \approx 88 \text{ strand}$$

Jadi dibutuhkan 80 *strand* untuk menahan beban yang dipikul kabel M1. Pada perencanaan akan dipasang 88 *strand* yang dibagi dalam 4 bendel *strand* tipe 22C15 (Freyssinet).

Untuk perhitungan kebutuhan *strand* kabel dan jumlah *strand* yang akan dipakai pada bentang tengah dan samping dapat dilihat pada tabel 4.2.:

Tabel 4.2. Perhitungan kebutuhan strand kabel dan jumlah strand pakai

ID	α	λ	a	W	P	$(W.\lambda + P) * \cos \alpha$	A_{sc}	n	n_{pakai}	A_{pakai}	Tendon terpasang
	o	m	m	kg/m	kg	kg	m ²			m ²	
M1	61	15	15	76835.56	290589.8	699640.047	0.011109	80	88	0.01232	4-22C15
M2	42	15	30	76835.56	290589.8	1072449.594	0.014540	104	132	0.01848	6-22C15
M3	32	15	45	76835.56	290589.8	1223837.945	0.018399	132	150	0.021	6-25CC15
M4	26	15	60	76835.56	290589.8	1297070.607	0.022303	160	162	0.02268	6-27C15
M5	23	15	75	76835.56	290589.8	1328401.978	0.025097	180	186	0.02604	6-31C15
S4	26	15	60	76835.56	290589.8	1297070.607	0.022303	160	162	0.02268	6-27C15
S3	32	15	45	76835.56	290589.8	1223837.945	0.018399	132	150	0.021	6-25CC15
S2	42	15	30	76835.56	290589.8	1072449.594	0.014540	104	132	0.01848	6-22C15
S1	61	15	15	76835.56	290589.8	699640.047	0.011109	80	88	0.01232	4-22C15

- Koreksi nilai modulus elastisitas

Kabel pada jembatan yang pada proses pemasangan berbentuk lurus akan mengalami *sagging* (berubah menjadi melengkung) sehingga harus dikoreksi nilai modulus elastisitasnya sesuai rumus:

$$E_i = \frac{E}{1 + \frac{\gamma \cdot L^2}{12 \cdot f_u^3} E}$$

Keterangan:

E_i : modulus elastisitas koreksi

E : modulus elastisitas kabel ($2 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$)

γ : berat jenis kabel (7850 kg/m^3)

L : panjang kabel terpasang

f_u : tegangan ijin kabel (1860 MPa)

Perhitungan koreksi nilai elastisitas kabel m1 dengan data sebagai berikut:

$$A = 15 \text{ m}$$

$$B = 22 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{15^2 + 22^2} = 26,627 \text{ m}$$

$$E_i = \frac{2 \cdot 10^{10}}{1 + \frac{7850 \cdot 26,627^2}{12 \cdot (1860 \cdot 10^5)^3} \cdot 2 \cdot 10^{10}}$$

$$E_i = 19999999971 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 199999,99971 \text{ MPa}$$

Untuk perhitungan koreksi nilai elastisitas kabel pada bentang tengah dan samping dapat dilihat pada tabel 4.3.:

Tabel 4.3. Perhitungan koreksi nilai elastisitas kabel

ID	a	b	L	Ei	Ei
	m	m	m	kg/m ²	Mpa
M1	15	22	26.62705	1999999971.169	200000.000
M2	30	24	38.41875	1999999939.980	199999.999
M3	45	26	51.97115	1999999890.167	199999.999
M4	60	28	66.21178	1999999821.729	199999.998
M5	75	30	80.77747	1999999734.668	199999.997
S5	75	30	80.77747	1999999734.668	199999.997
S4	60	28	66.21178	1999999821.729	199999.998
S3	45	26	51.97115	1999999890.167	199999.999
S2	30	24	38.41875	1999999939.980	199999.999
S1	15	22	26.62705	1999999971.169	200000.000

4.1.2. Gelagar utama

- Material

Gelagar utama direncanakan berupa boks girder yang terbuat dari material baja mutu BJ-50 dengan $f_y = 290$ MPa dan $f_u = 500$ MPa.

- Dimensi gelagar utama

Gelagar utama berupa boks girder berbentuk *single twin cellular* dengan lebar 34,1 meter. Tinggi boks girder baja menurut Walther (1999):

$$\frac{1}{50}L \geq h \geq \frac{1}{70}L$$

dengan h adalah tinggi boks dan L adalah panjang bentang utama (156 meter). Dengan adanya kriteria tersebut maka pada modifikasi perencanaan Jembatan Sungai Brantas pada Ruas Tol Solo-Kertosono ini direncanakan tinggi boks girder:

$$\frac{1}{60}L = \frac{1}{60} \times 156 = 2,6 \text{ m}$$

- Ribs (rusuk arah memanjang)
Boks girder bersifat *orthotropic* yang dilengkapi dengan ribs (rusuk arah memanjang) tertutup dengan bentuk trapesium.
 - i. Jarak antar rib : 26 inch
 - ii. Dimensi rib :
 - Tebal : 3/8 in
 - Tinggi : 10 in
 - Lebar atas : 12,75 in
 - Lebar bawah : 6,5 in
 - Panjang sisi miring : 10,477 in
 - Jarak bagian terluar antar rib : 13,25 in
 - iii. Jarak floorbeam : 3 m

4.1.3. Pilon

- Material
Pilon atau menara direncanakan terbuat dari material beton bertulang dengan mutu $f'_c = 50$ MPa.
- Dimensi
Pilon direncanakan berupa struktur *single tower*. Tinggi pilon untuk struktur jembatan kabel dengan *single plane vertical system* menurut Podolny (1986):

$$\frac{h}{L} = 0,2$$
 dengan h adalah tinggi pilon dan L adalah panjang bentang utama (156 meter). Sehingga didapatkan tinggi pilon sebesar:

$$\frac{h}{156} = 0,2 \rightarrow h = 31,2 \approx 32 \text{ m}$$
 (di atas permukaan gelagar utama). Untuk ukuran pilon direncanakan menggunakan gaya yang terjadi pada pilon akibat kabel pada tabel 4.4. sebagai berikut:

Tabel 4.4. Gaya pada pylon

ID	P kabel	β	P (kg)
M1	785981.268	29	687434.7
M2	1121517.425	48	750441.6
M3	1249781.417	58	662283.2
M4	1307913.861	64	573351.7
M5	1338040.600	67	522814.1
S5	1338040.600	67	522814.1
S4	1307913.861	64	573351.7
S3	1249781.417	58	662283.2
S2	1121517.425	48	750441.6
S1	785981.268	29	687434.7
Total			6392651

Akibat gaya tersebut dapat direncanakan ukuran pylon menggunakan rumus berikut:

$$A = \frac{P}{f'_c}$$

Untuk:

A = luas penampang pylon (mm²)

P = jumlah gaya total yang terjadi akibat kabel pada pylon (kg)
= 6392651 kg

F'_c = mutu beton pylon (MPa)
= 50 MPa
= 500 kg/cm²

$$A = \frac{6392651}{500} = 12785,3016 \text{ mm}^2$$

$$A = 1,27853016 \text{ m}^2$$

Direncanakan pylon berbentuk segiempat berongga dengan ukuran 3 x 6 m dan tebal 1 rongga 1 m

sehingga didapat luasan pylon sebesar 14 m^2 . Luas rencana pylon lebih besar daripada yang dibutuhkan sehingga ukuran pylon rencana boleh digunakan.

4.2. Pembebanan

4.2.1. Beban mati

a. Beban sendiri (D)

- Ribs : $0,006643 \text{ m}^2 \times 51 \times 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,1$
= 2925,287 kg/m
- Trotoar : $(1 \times 0.25) \text{ m}^2 \times 2 \times 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,3$
= 1560 kg/m
- Median : $(3,5 \times 0.25) \text{ m}^2 \times 1 \times 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,3$
= 2730 kg/m
- Total :
= 7215,287 kg/m

b. Beban mati tambahan (D++)

- Perkerasan : $(14,3 \times 0.05) \text{ m}^2 \times 2 \times 2200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 2$
= 6292 kg/m
- Air hujan : $(14,3 \times 0.05) \text{ m}^2 \times 2 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 2$
= 2860 kg/m
- Total :
= 9152 kg/m

4.2.2. Beban lalu lintas

Jembatan digunakan untuk jalan tipe 8/2 D dengan lebar jalur kendaraan yang dikenai beban sebesar 14,3 m.

a. Beban lajur “D”

Dengan lebar tiap jalur sebesar 14,3 m maka didapatkan jumlah lajur lalu lintas rencana (n_1) sebanyak 4 buah sesuai tabel 4.5.

Tabel 4.5. Jumlah lajur rencana berdasarkan lebar jembatan

Tipe Jembatan (1)	Lebar Jalur Kendaran (m) (2)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu lajur	4,0 - 5,0	1
Dua arah, tanpa median	5,5 - 8,25 11,3 - 15,0	2 (3) 4
Bangkai arah	8,25 - 11,25	3
	11,3 - 15,0	4
	15,1 - 18,75	5
	18,8 - 22,5	6

CATATAN (1) Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.

CATATAN (2) Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau tanggul untuk satu arah atau jarak antara kerb/melangkanmedian dengan median untuk banyak arah.

CATATAN (3) Lebar minimum yang aman untuk dua lajur kendaraan adalah 6,0 m. Lebar jembatan antara 3,0 m sampai 6,0 m harus dihindari dan karena hal ini akan memberikan kesan kepada pengemudi seolah-olah memungkinkannya untuk melampir.

Intensitas beban lajur terbagi rata (BTR) sesuai RSNI T02-2005 dibagi sebagai berikut:

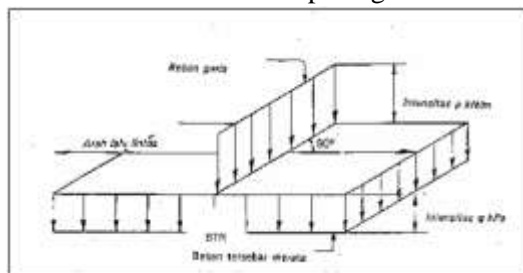
$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9 \text{ kPa}$$

$$L \geq 30 \text{ m} : q = 9 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$$

Untuk perencanaan jembatan dengan panjang bentang keseluruhan 306 m maka besarnya intensitas BTR:

$$q = 9 \left(0,5 + \frac{15}{306} \right) = 4,941 \text{ kPa}$$

Sedangkan intensitas beban lajur garis (BGT) sesuai RSNI T02-2005 sebesar 49 kN/m. Penempatan beban lajur sesuai RSNI T02-2005 pada gambar 4.2.

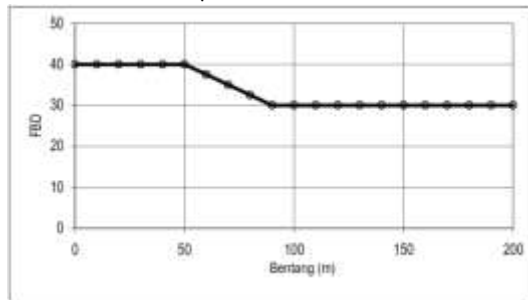


Gambar 4.2. Intensitas beban lajur

b. Faktor beban dinamis

Faktor beban dinamis dikenakan pada beban lajur dan beban truk. Nilai faktor beban dinamis beban lajur sesuai RSNI T02-2005 merupakan fungsi dari panjang bentang ekuivalen seperti pada gambar 4.3. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus:

$$L_E = \sqrt{L_{av} \cdot L_{max}}$$



Gambar 4.3. Faktor beban dinamis berdasarkan panjang bentang

Sehingga untuk perencanaan jembatan dengan panjang bentang 306 m yang terdiri dari 75 m side span dan 156 main span didapatkan:

$$L_E = \sqrt{102 \cdot 156} = 126,143 \text{ m}$$

Dengan panjang bentang ekuivalen 126,143 m diperoleh nilai faktor beban dinamis beban lajur sebesar 30%.

Sedangkan besarnya faktor beban dinamis beban truk diambil sebesar 30%.

Dari uraian tersebut di atas maka didapatkan beban hidup dengan rumusan dan nilai sebagai berikut:

$$q_{BTR} = (100\% \cdot 4,941 \cdot 1,3 \cdot 1,8) + (50\% \cdot 4,941 \cdot 1,55 \cdot 1,3 \cdot 1,8)$$

$$q_{BTR} = 167,937 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{BTR} = 16793,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \text{ (1 jalur)}$$

$$q_{BGT} = (100\% \cdot 49 \cdot 13,75 \cdot 1,3 \cdot 1,8) + (50\% \cdot 49 \cdot 1,55 \cdot 1,3 \cdot 1,8)$$

$$q_{BGT} = 1665,437 \text{ kN}$$

$$q_{BGT} = 166543,7 \text{ kg (1 jalur)}$$

4.2.3. Beban lingkungan

a. Beban angin

- Beban angin pada struktur gelagar utama

Besarnya beban angin bergantung pada kecepatan angin (V_w) sebesar 30 m/s sesuai dengan lokasi jembatan yang jauh dari pantai seperti pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Kecepatan angin rencana

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

$$T_{EW} = 0,0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b /$$

Nilai C_w sesuai tabel 4.7. berikut:

Tabel 4.7. Koefisien seret

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas masif: (1), (2)	
$b/d = 1,0$	2,1 (3)
$b/d = 2,0$	1,5 (3)
$b/d \geq 6,0$	1,25 (3)
Bangunan atas rangka	1,2
CATATAN (1): b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang masif	
CATATAN (2): Untuk harga antara dari b/d bisa diinterpolasi linear	
CATATAN (3): Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dikalikan sebesar 3 % untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5 %	

Untuk gelagar nilai $b = 34,1$ m dan $d = 3,85$ m maka didapat perbandingan b/d sebesar 8,857 sehingga nilai C_w didapatkan 1,25 sedangkan untuk pilon nilai $b = 1,5$ dan $d > 32$ m maka didapat perbandingan $b/d > 6$ sehingga nilai C_w didapatkan 2,1. Besarnya beban angin:

$$W_b = 0,0006 \cdot 1,25 \cdot (30)^2 \cdot 3,85 \cdot 1,2 = 3,119 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 311,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \text{ (gelagar)}$$

$$W_p = 0,0006 \cdot 2,1 \cdot (30)^2 \cdot 2,5 \cdot 1,2 = 3,402 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 340,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \text{ (pilon)}$$

Jika pada jembatan terdapat kendaraan maka terjadi beban angin tambahan dengan rumus:

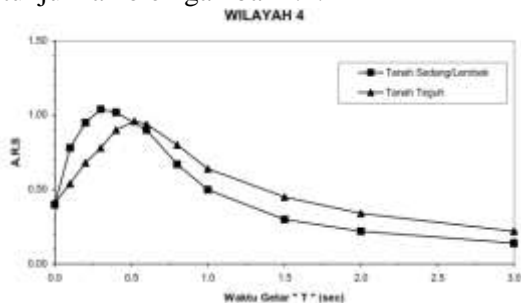
$$T_{EW} = 0,0012 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b$$

Dengan $C_w = 1,2$ sehingga didapatkan:

$$W_v = 0,0012 \cdot 1,2 \cdot (30)^2 \cdot 3,85 \cdot 1,2 = 6,237 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 623,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

b. Beban gempa

Direncanakan berdasarkan SNI 03-2833-2008 dengan lokasi tinjauan jembatan di Desa Lestari, Kecamatan Patianrowo, Kertosono, Nganjuk. Dalam peta gempa Indonesia lokasi tersebut masuk ke dalam wilayah 4 dan data tanah yang ada termasuk kategori tanah sedang. Dengan demikian didapatkan grafik respon spektrum yang ditunjukkan oleh gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik respon spektrum wilayah 4

4.2.4. Kombinasi pembebanan

Tabel 4.8. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi	D	D++	BTR	BGT	Wb	Wp	Wv	T1	T2	T3	T4	T5	E	KET.
1	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	-	Beban lajur penuh
2	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	-	Beban lajur di tengah
3	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	-	Beban lajur di samping
4	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	-	Beban lajur di tengah dan samping
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	Beban lajur penuh
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	Beban lajur di tengah
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	Beban lajur di samping
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	Beban lajur di tengah dan samping
9	0	0	0	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	
10	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
11	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	Beban lajur penuh
13	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	Beban lajur di tengah
14	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	Beban lajur di samping
15	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	Beban lajur di tengah dan samping

4.3. Struktur Sekunder

4.3.1. Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan direncanakan sebagai bagian dari gelagar utama orthotropic dengan ketebalan:

$$t_p = 0,0065 \cdot a \cdot \sqrt[3]{P} \text{ (Heins, 1979)}$$

untuk:

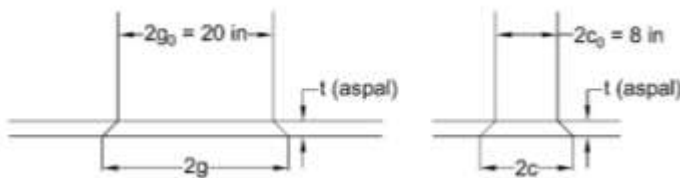
$$t_p = \text{tebal minimum pelat (in)}$$

$$a = \text{jarak antar rib (in)}$$

$$P = \text{tekanan ban truk (psi)}$$

Besarnya tekanan ban truk (P) dapat dihitung sebagai berikut:

- Hitung luasan bidang kontak dengan besar gaya yang diberikan oleh ban sebesar 11,25 ton = 22500 lbs (RSNI T 02 2005). Luas bidang kontak seperti pada gambar 5.1. dengan asumsi tebal aspal 5 cm seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Bidang kontak ban truk

$$2g = 2g_0 + 2t = 20 + 2 \cdot 1,969 = 23,938 \text{ in}$$

$$2c = 2c_0 + 2t = 8 + 2 \cdot 1,969 = 11,938 \text{ in}$$

$$A = 2g_0 \cdot 2c_0 = 23,938 \cdot 11,938 = 285,772 \text{ in}^2$$

- Koefisien kejutan yang mempengaruhi dapat dihitung dengan rumus:

$$I = \frac{50}{L+125} \leq 30\% \text{ (Heins, 1979)}$$

Dengan L adalah panjang ribs yang direncanakan sebesar 3 meter. Koefisien kejut didapatkan sebesar:

$$I = \frac{50}{3+125} = 0.391 > 30\% \text{ sehingga diambil koefisien kejut sebesar } 30\%$$

- Besarnya tekanan ban dirumuskan sebagai:

$$P = \frac{1,3 \times 22500}{A} \text{ (termasuk koefisien kejut } 30\%)$$

$$P = \frac{1,3 \times 22500}{285,772} = 102,354 \text{ psi}$$

Setelah didapat nilai P maka dapat dihitung besarnya tebal pelat lantai.

$$t_p = 0,0065 \cdot 26 \cdot \sqrt[3]{102,354}$$

$$t_p = 0,791 \text{ in} = 2,008 \text{ cm}$$

Dipakai pelat dengan tebal 2,1 cm.

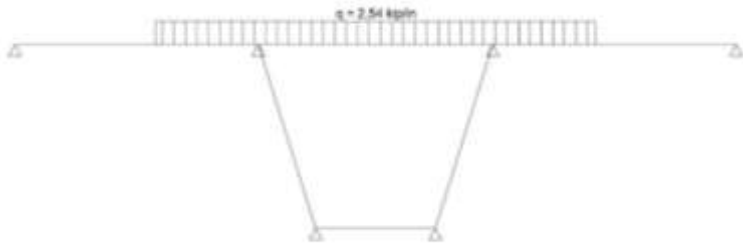
Lendutan yang terjadi pada pelat lantai harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\frac{5}{6} \left(\frac{12}{384} \right) \left(\frac{P \cdot a^4}{E \cdot t_p^3} \right) \leq \frac{a}{300} \text{ (AISC, 1963)}$$

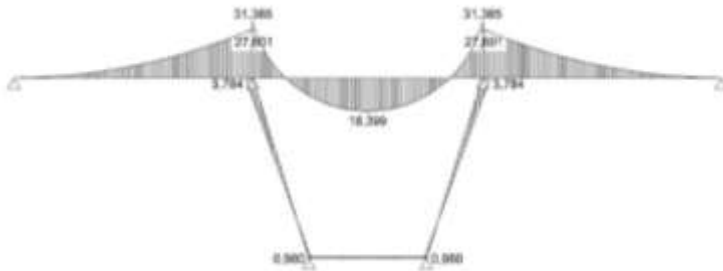
$$\frac{5}{6} \left(\frac{12}{384} \right) \left(\frac{102,354 \cdot 26^4}{29 \cdot 10^6 \cdot 0,827^3} \right) \leq \frac{26}{300}$$

$$0,074 \text{ in} \leq 0,867 \text{ in (OK)}$$

Tegangan yang terjadi pada pelat harus lebih kecil dibanding tegangan material baja yang digunakan. Momen yang digunakan adalah momen yang terjadi pada 1 (satu) rib yang dihitung dengan menggunakan analisis statis tak tentu dengan beban yang ditunjukkan gambar 4.6. dan menghasilkan diagram momen seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.6. Pembebanan rib



Gambar 4.7. Diagram momen rib

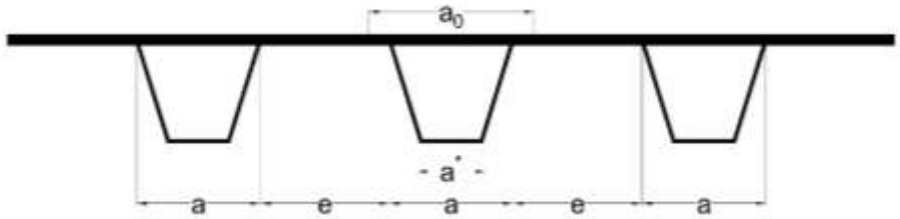
$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M}{S} \leq \sigma_{\text{dasar}} = 1933 \text{ kg/cm}^2 \\ M &= 31,385 \text{ kip.in} = 36159,431 \text{ kg}\cdot\text{cm} \\ S &= \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot (26 \cdot 2,54) \cdot 2,1^2 = 48,539 \text{ cm}^3 \\ \sigma &= \frac{36159,431}{48,539} = 744,956 \leq \sigma_{\text{dasar}} = 1933 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

4.3.2. Perencanaan ribs

a. Lebar efektif rib

Penghitungan lebar efektif dengan penampang sesuai gambar 4.6. sebagai berikut:

$$a^* = \lambda_1 a + \lambda_2 e \text{ (Heins, 1979)}$$



Gambar 4.8. Penampang ribs

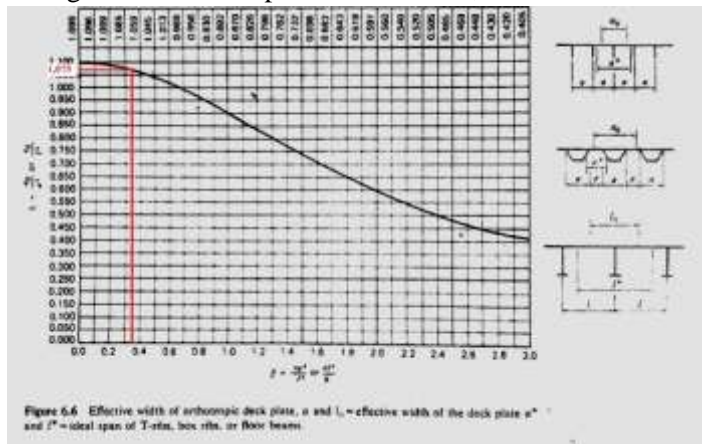
$$\lambda_1 = \frac{\pi \cdot a}{l_1} = \frac{\pi \cdot 12,75}{82,667} = 0,484 \text{ in}$$

$$\lambda_2 = \frac{\pi \cdot e}{l_1} = \frac{\pi \cdot 13,25}{82,667} = 0,503 \text{ in}$$

$$a^* = 0,484 \cdot 12,75 + 0,503 \cdot 13,25 = 12,836 \text{ in}$$

$$\lambda_1 = \frac{\pi \cdot a^*}{l} = \frac{\pi \cdot 12,836}{118,110} = 0,341 \text{ in}$$

Dari gambar 4.9. didapatkan nilai $\lambda = 1,075$.



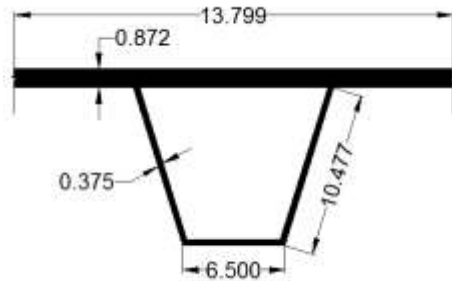
Gambar 4.9. Grafik lebar efektif rib

$$\lambda = \frac{\alpha_0}{\alpha^*}$$

$$\alpha_0 = 1,075 \cdot 12,836 = 13,799 \text{ in}$$

b. Geometrik rib

Dimensi rib ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Dimensi rib

- Garis netral

$$A_{\text{rib}} = 0,0715 \text{ ft}^2 = 10,296 \text{ in}^2$$

$$A_{\text{pelat}} = 13,799 \cdot 0,827 = 11,412 \text{ in}^2$$

$$\begin{aligned} y_{\text{atas}} &= \frac{A_{\text{rib}} \cdot y_{\text{rib}} + A_{\text{pelat}} \cdot y_{\text{pelat}}}{A_{\text{total}}} \\ &= \frac{10,296 \cdot (10 - 4,06 + 0,872) + 16,297 \cdot (0,5 \cdot 0,872)}{10,296 + 16,297} \\ &= 2,905 \text{ in} \end{aligned}$$

$$y_{\text{bawah}} = 10 + 0,872 - 2,905 = 7,967 \text{ in}$$

- Momen inersia

$$I_{\text{rib}} = I + A \cdot d^2 = 100,8 + 10,296 \cdot (7,967 - 4,06)^2$$

$$I_{\text{rib}} = 257,965 \text{ in}^4$$

$$I_{\text{pelat}} = I + A \cdot d^2$$

$$I_{\text{pelat}} = \frac{1}{12} \cdot 13,799 \cdot 0,872^3 + 16,297 \cdot \left(2,905 - \frac{1}{2} \cdot 0,872 \right)^2$$

$$I_{\text{pelat}} = 100,108 \text{ in}^4$$

$$I_{\text{total}} = 257,965 + 100,108 = 358,072 \text{ in}^4$$

- Modulus section

$$S_a = \frac{I}{y_a} = \frac{358,072}{2,905} = 123,261 \text{ in}^3$$

$$S_b = \frac{I}{y_a} = \frac{358,072}{7,967} = 44,944 \text{ in}^3$$

- Kelangsingan

Untuk kontrol kelangsingan diperlukan besarnya momen yang terjadi pada 1 (satu) rib yang dihitung dengan menggunakan analisis statis tak tentu dengan beban yang ditunjukkan gambar 4.8. dan menghasilkan diagram momen seperti pada gambar 4.9.

$$\left(\frac{L}{r}\right)_{\max} = 83 \cdot \sqrt{\frac{1500}{f_y} - \frac{2700 \cdot F}{f_y^2}}$$

$$M = 31,385 \text{ kip.in}$$

$$F = \frac{M}{S_a} = \frac{31,385}{123,261} = 0,255 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2} = 1,7 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{L}{r}\right)_{\max} = 83 \cdot \sqrt{\frac{1500}{290} - \frac{2700 \cdot 1,7}{290^2}} = 187,768$$

$$\frac{L}{r} = \frac{L}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{118,110}{\sqrt{\frac{358,072}{21,708}}} = 29,081$$

- Torsional rigidity

- Faktor torsional rib

$$K = \frac{4 \cdot A^2}{\frac{P}{t_{\text{rib}}} + \frac{a}{t_{\text{pelat}}}} = \frac{4 \cdot 10,296^2}{\frac{(10,477 \cdot 2 + 6,5)}{0,375} + \frac{12,75}{0,872}}$$

$$K = 4,828 \text{ in}^4$$

- Faktor reduksi

$$\frac{1}{\mu} = 1 + \frac{G \cdot K}{E \cdot I_p} \cdot \frac{a^2}{12 \cdot (a+e)^2} \cdot \frac{\pi}{S_e} \cdot \left(\left(\frac{e}{a}\right)^3 + \left(\frac{e-b}{a+b} + \frac{b}{a}\right)^3 \right)$$

$$G \cdot K = 11500 \cdot 4,828 = 55522 \text{ kip} \cdot \text{in}^2$$

$$E \cdot I_p = \frac{29 \cdot 10^3 \cdot 0,872^3}{10,92} = 1,761 \cdot 10^3 \text{ kip} \cdot \frac{\text{in}^2}{\text{in}}$$

$$\frac{1}{\mu} = 1 + \frac{55522}{1761} \cdot \frac{12,75^2}{12 \cdot (12,75 + 13,25)^2} \cdot \frac{\pi}{S_e} \cdot \left(\left(\frac{13,25}{12,75} \right)^3 + \left(\frac{13,25 - 6,5}{12,75 + 6,5} + \frac{6,5}{12,75} \right)^3 \right)$$

$$\frac{1}{\mu} = 1,069$$

$$\mu = 0,935$$

- Kekakuan torsi

$$H = \frac{1}{2} \left(\frac{\mu \cdot G \cdot K}{a + e} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{0,935 \cdot 55522}{12,75 + 13,25} \right)$$

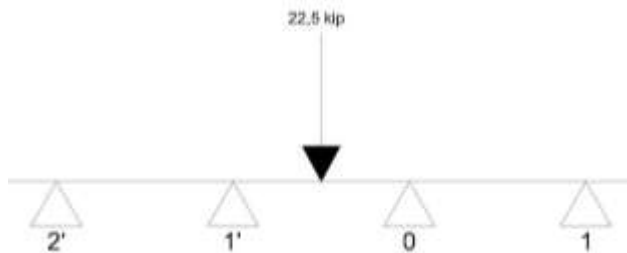
$$H = 998,328 \text{ kip} \cdot \text{in}^2 / \text{in}$$

- Kekakuan lentur

$$D_y = \frac{E \cdot I}{a + e} = \frac{29 \cdot 10^3 \cdot 358,072}{12,75 + 13,25} = 399388 \text{ kip} \cdot \text{in}^2 / \text{in}$$

4.3.3. Momen yang terjadi pada ribs dan pelat

- a. Momen pada perletakan (Ms)



Gambar 4.11. Pembebanan momen pada perletakan

$$M = Q_0 \cdot s \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{sn}}{s}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\eta_{sn}}{s} &= \frac{M_0^*}{s} \cdot \kappa^m \cdot \left(C_1 \cdot \sinh(\alpha y) + C_2 \cdot \cosh(\alpha y) + C_3 \cdot \frac{y}{s} + C_4 \right) \\
\frac{M_0^*}{s} &= \frac{1}{\alpha^*} \cdot \frac{\kappa}{(1-\kappa^2)} \\
\alpha &= \frac{n\pi}{b} \sqrt{\frac{2H}{D_y}} \\
\alpha_{n=1} &= \frac{1 \cdot \pi}{14 \cdot 5,969} \sqrt{\frac{2 \cdot 998,328}{399388}} = 0,003 \\
b &= 14c \\
c &= 5,969 \text{ in} \\
g &= 11,969 \text{ in} \\
\alpha^* &= 1 - \frac{\alpha s}{\sinh(\alpha s)} \\
\alpha_{n=1}^* &= 1 - \frac{0,003 \cdot 118,11}{\sinh(0,003 \cdot 118,11)} = 0,017 \\
k &= \frac{\alpha s \cdot \coth(\alpha s) - 1}{\alpha^*} \\
k_{n=1} &= \frac{0,003 \cdot 118,11 \cdot \coth(0,003 \cdot 118,11) - 1}{0,017} = 2,010 \\
\kappa &= -k + \sqrt{k^2 - 1} \\
\kappa_{n=1} &= -2,010 + \sqrt{2,010^2 - 1} = -0,266 \\
\frac{M_0^*}{s} (n=1) &= \frac{1}{0,017} \cdot \frac{-0,266}{(1 - (-0,266)^2)} = -17,133 \\
C_1 &= \frac{-\kappa + \cosh(\alpha s)}{\sinh(\alpha s)} \\
C_1 (n=1) &= \frac{-(-0,266) + \cosh(0,003 \cdot 118,11)}{\sinh(0,003 \cdot 118,11)} = 4,064 \\
C_2 &= -1 \\
C_3 &= \kappa - 1 ; n = 1 \rightarrow C_3 = -0,266 - 1 = -1,266 \\
C_4 &= +1 \\
\frac{\eta_{sn}}{s} &= -17,133 \cdot (-0,266)^0 \\
&\cdot \left(4,064 \cdot \sinh(0,003 \cdot 59,055) + (-1) \cdot \cosh(0,003 \cdot 59,055) + (-1,266) \cdot \frac{59,055}{118,11} + 1 \right)
\end{aligned}$$

$$\frac{\eta_{sn}}{s} = -0,079$$

$$\frac{Q_{nx}}{Q_0} = \frac{4}{n\pi} \cdot \sin\left(\frac{n\pi g}{b}\right)$$

$$Q_0 = \frac{P}{2g} = \frac{22,5}{2 \cdot 11,969} = 0,94 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\frac{Q_{nx}}{Q_0} (n=1) = \frac{4}{1 \cdot \pi} \cdot \sin\left(\frac{1 \cdot \pi \cdot 11,969}{14 \cdot 5,969}\right) = 0,554$$

$$s = 3 \text{ m} = 118,11 \text{ in}$$

$$y = 1,5 \text{ m} = 59,055 \text{ in}$$

$$\frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{sn}}{s} (n=1) = 0,554 \cdot (-0,0811) = -0,0437$$

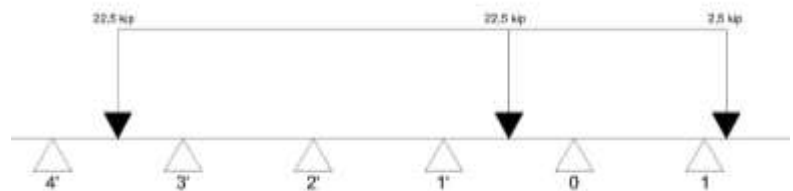
Pada lampiran x didapatkan nilai $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{sn}}{s} =$

-0,0353, sehingga besarnya momen pada perletakan sebesar:

$$M = Q_0 \cdot s \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{sn}}{s} = 0,94 \cdot 118,11 \cdot (-0,0353)$$

$$M = -3,918 \text{ kip.in} = -49758,936 \text{ kg.cm}$$

b. Momen pada bentang tengah (M_c)



Gambar 4.12. Pembebanan momen pada tengah bentang

- Tepat di tengah bentang

$$M = Q_0 \cdot s \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{cn}}{s}$$

$$\frac{\eta_{cn}}{s} = \frac{\sinh(\alpha y)}{2\alpha s \cdot \cosh\left(\frac{\alpha s}{2}\right)}$$

$$+ \frac{M_0^*}{s} \cdot \left(C_1 \cdot \sinh(\alpha y) + C_2 \cdot \cosh(\alpha y) + C_3 \cdot \frac{y}{s} + C_4 \right)$$

$$\frac{M_0^*}{s} = \frac{1}{2 \cosh\left(\frac{\alpha s}{2}\right)} \cdot \frac{\kappa}{\alpha^* \cdot (1 - \kappa^2)}$$

$$\alpha = \frac{n\pi}{b} \sqrt{\frac{2H}{D_y}}$$

$$\alpha_{n=1} = \frac{1 \cdot \pi}{14 \cdot 5,969} \sqrt{\frac{2 \cdot 998,328}{399388}} = 0,003$$

$$b = 14c$$

$$c = 5,969 \text{ in}$$

$$g = 11,969 \text{ in}$$

$$\alpha^* = 1 - \frac{\alpha s}{\sinh(\alpha s)}$$

$$\alpha_{n=1}^* = 1 - \frac{0,003 \cdot 118,11}{\sinh(0,003 \cdot 118,11)} = 0,017$$

$$k = \frac{\alpha s \cdot \coth(\alpha s) - 1}{\alpha^*}$$

$$k_{n=1} = \frac{0,003 \cdot 118,11 \cdot \coth(0,003 \cdot 118,11) - 1}{0,017} = 2,010$$

$$\kappa = -k + \sqrt{k^2 - 1}$$

$$\kappa_{n=1} = -2,010 + \sqrt{2,010^2 - 1} = -0,266$$

$$\frac{M_0^*}{s} = \frac{1}{2 \cosh\left(\frac{0,003 \cdot 118,11}{2}\right)} \cdot \frac{-0,266}{0,017 \cdot (1 - (-0,266)^2)} = -6,025$$

$$C_1 = \tanh\left(\frac{\alpha s}{2}\right)$$

$$C_{1(n=1)} = \tanh\left(\frac{0,003 \cdot 118,11}{2}\right) = 0,158$$

$$C_2 = -1$$

$$C_3 = 0$$

$$C_4 = +1$$

$$\frac{\eta_{cn}}{s} = \frac{\sinh(0,003 \cdot 59,06)}{2(0,003 \cdot 59,06) \cdot \cosh\left(\frac{0,003 \cdot 59,06}{2}\right)} + (-6,205) \cdot \left(0,158 \cdot \sinh(0,003 \cdot 59,06) + (-1) \cdot \cosh(0,003 \cdot 59,06) + 0 \cdot \frac{59,06}{118,11} + 1\right)$$

$$\frac{\eta_{cn}}{s} = 0,17$$

$$\frac{Q_{nx}}{Q_0} = \frac{4}{n\pi} \cdot \sin\left(\frac{n\pi g}{b}\right)$$

$$\frac{Q_{nx}}{Q_0} (n=1) = \frac{4}{1 \cdot \pi} \cdot \sin\left(\frac{1 \cdot \pi \cdot 11,969}{14 \cdot 5,969}\right) = 0,554$$

$$Q_0 = \frac{P}{2g} = \frac{22,5}{2 \cdot 11,969} = 0,94 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$s = 3 \text{ m} = 118,11 \text{ in}$$

$$y = 1,5 \text{ m} = 59,06 \text{ in}$$

$$\frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{cn}}{s} (n=1) = 0,554 \cdot 0,17 = 0,0941$$

Pada lampiran x didapatkan nilai $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{cn}}{s} =$

0,292, sehingga besarnya momen pada perletakan sebesar:

$$M = Q_0 \cdot s \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{cn}}{s} = 0,94 \cdot 118,11 \cdot 0,292$$

$$M = 32,4 \text{ kip.in} = 411890,7 \text{ kg.cm}$$

- Posisi roda 5 m dari tengah bentang

$$M = Q_0 \cdot s \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{sn}}{s}$$

$$\frac{\eta_{sn}}{s} = \frac{M_0^*}{s} \cdot \kappa^m \cdot \left(C_1 \cdot \sinh(\alpha y) + C_2 \cdot \cosh(\alpha y) + C_3 \cdot \frac{y}{s} + C_4 \right)$$

$$\frac{M_0^*}{s} = \frac{1}{\alpha^*} \cdot \frac{\kappa}{(1 - \kappa^2)}$$

$$\alpha = \frac{n\pi}{b} \sqrt{\frac{2H}{D_y}}$$

$$\alpha_{n=1} = \frac{1 \cdot \pi}{14,5,969} \sqrt{\frac{2 \cdot 998,328}{399388}} = 0,003$$

$$b = 14c$$

$$c = 5,969 \text{ in}$$

$$g = 11,969 \text{ in}$$

$$\alpha^* = 1 - \frac{\alpha s}{\sinh(\alpha s)}$$

$$\alpha_{n=1}^* = 1 - \frac{0,003 \cdot 118,11}{\sinh(0,003 \cdot 118,11)} = 0,017$$

$$k = \frac{\alpha s \cdot \coth(\alpha s) - 1}{\alpha^*}$$

$$k_{n=1} = \frac{0,003 \cdot 118,11 \cdot \coth(0,003 \cdot 118,11) - 1}{0,017} = 2,010$$

$$\kappa = -k + \sqrt{k^2 - 1}$$

$$\kappa_{n=1} = -2,010 + \sqrt{2,010^2 - 1} = -0,266$$

$$\frac{M_0^*}{s} (n=1) = \frac{1}{0,017} \cdot \frac{-0,266}{(1 - (-0,266)^2)} = -17,133$$

$$C_1 = \frac{-\kappa + \cosh(\alpha s)}{\sinh(\alpha s)}$$

$$C_{1(n=1)} = \frac{-(-0,266) + \cosh(0,003 \cdot 118,11)}{\sinh(0,003 \cdot 118,11)} = 4,064$$

$$C_2 = -1$$

$$C_3 = \kappa - 1$$

$$C_4 = +1$$

$$\frac{\eta_{sn}}{s} = -17,133 \cdot (-0,266)^0$$

$$\cdot \left(4,064 \cdot \sinh(0,003 \cdot 19,685) + (-1) \cdot \cosh(0,003 \cdot 19,685) + (-1,266) \cdot \frac{19,685}{118,11} + 1 \right)$$

$$\frac{\eta_{sn}}{s} = -0,0221$$

$$\frac{Q_{nx}}{Q_0} = \frac{4}{n\pi} \cdot \sin\left(\frac{n\pi g}{b}\right)$$

$$Q_0 = \frac{P}{2g} = \frac{2,5}{2 \cdot 11,969} = 0,104 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\frac{Q_{nx}}{Q_0} (n=1) = \frac{4}{1 \cdot \pi} \cdot \sin\left(\frac{1 \cdot \pi \cdot 11,969}{14 \cdot 5,969}\right) = 0,554$$

$$s = 3 \text{ m} = 118,11 \text{ in}$$

$$y = 0,5 \text{ m} = 19,685 \text{ in}$$

$$\frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{sn}}{s} (n=1) = 0,554 \cdot (-0,0221) = -0,0122$$

Pada lampiran x didapatkan nilai $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{sn}}{s} = -0,0099$,

sehingga besarnya momen pada perletakan sebesar:

$$M = Q_0 \cdot s \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{sn}}{s} = 0,104 \cdot 118,11 \cdot (-0,0099)$$

$$M = -0,122 \text{ kip.in} = -1550,55 \text{ kg.cm}$$

- Posisi roda 9 m dari tengah bentang

$$M = Q_0 \cdot s \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{sn}}{s}$$

$$\frac{\eta_{sn}}{s} = \frac{M_0^*}{s} \cdot \kappa^m \cdot (C_1 \cdot \sinh(\alpha y) + C_2 \cdot \cosh(\alpha y) + C_3 \cdot \frac{y}{s} + C_4)$$

$$\frac{M_0^*}{s} = \frac{1}{\alpha^*} \cdot \frac{\kappa}{(1 - \kappa^2)}$$

$$\alpha = \frac{n\pi}{b} \sqrt{\frac{2H}{D_y}}$$

$$\alpha_{n=1} = \frac{1 \cdot \pi}{14 \cdot 5,969} \sqrt{\frac{2 \cdot 998,328}{399388}} = 0,003$$

$$b = 14c$$

$$c = 5,969 \text{ in}$$

$$g = 11,969 \text{ in}$$

$$\alpha^* = 1 - \frac{\alpha s}{\sinh(\alpha s)}$$

$$\alpha_{n=1}^* = 1 - \frac{0,003 \cdot 118,11}{\sinh(0,003 \cdot 118,11)} = 0,017$$

$$k = \frac{as \cdot \coth(as) - 1}{\alpha^*}$$

$$k_{n=1} = \frac{0,003 \cdot 118,11 \cdot \coth(0,003 \cdot 118,11) - 1}{0,017} = 2,010$$

$$\kappa = -k + \sqrt{k^2 - 1}$$

$$\kappa_{n=1} = -2,010 + \sqrt{2,010^2 - 1} = -0,266$$

$$\frac{M_0^*}{s} (n=1) = \frac{1}{0,017} \cdot \frac{-0,266}{(1 - (-0,266)^2)} = -17,133$$

$$C_1 = \frac{-\kappa + \cosh(as)}{\sinh(as)}$$

$$C_1 (n=1) = \frac{-(-0,266) + \cosh(0,003 \cdot 118,11)}{\sinh(0,003 \cdot 118,11)} = 4,064$$

$$C_2 = -1$$

$$C_3 = \kappa - 1$$

$$C_4 = +1$$

$$\frac{\eta_{sn}}{s} = -17,133 \cdot (-0,266)^0$$

$$\cdot \left(4,064 \cdot \sinh(0,003 \cdot 59,055) + (-1) \cdot \cosh(0,003 \cdot 59,055) + (-1,266) \cdot \frac{59,055}{118,11} + 1 \right)$$

$$\frac{\eta_{sn}}{s} = -0,0286$$

$$\frac{Q_{nx}}{Q_0} = \frac{4}{n\pi} \cdot \sin\left(\frac{n\pi g}{b}\right)$$

$$Q_0 = \frac{P}{2g} = \frac{22,5}{2 \cdot 11,969} = 0,94 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\frac{Q_{nx}}{Q_0} (n=1) = \frac{4}{1 \cdot \pi} \cdot \sin\left(\frac{1 \cdot \pi \cdot 11,969}{14 \cdot 5,969}\right) = 0,554$$

$$s = 3 \text{ m} = 118,11 \text{ in}$$

$$y = 1,5 \text{ m} = 59,055 \text{ in}$$

$$\frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{sn}}{s} (n=1) = 0,554 \cdot (-0,0286) = -0,0158$$

$$\text{Pada lampiran x didapatkan nilai } \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{sn}}{s} = -0,0129,$$

sehingga besarnya momen pada perletakan sebesar:

$$M = Q_0 \cdot s \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{nx}}{Q_0} \cdot \frac{\eta_{sn}}{s} = 0,94 \cdot 118,11 \cdot (-0,0129)$$

$$M = -1,43 \text{ kip.in} = -18119,860 \text{ kg.cm}$$

Dari hasil perhitungan didapat besarnya momen pada tengah bentang $M_c = 392220 \text{ kg.cm}$ (hasil perhitungan terlampir).

c. Kontrol tegangan pada ribs

i. Akibat momen pada perletakan

$$M_s = -49758,936 \text{ kg.cm}$$

▪ Tegangan serat atas

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M_s}{S_a} \\ &= \frac{49758,936}{2380,549} \\ &= 20,902 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ijin} = 1933 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

▪ Tegangan serat bawah

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M_s}{S_b} \\ &= \frac{49758,936}{920,969} \\ &= 54,029 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ijin} = 1933 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

ii. Akibat momen pada tengah bentang

$$M_c = 392220 \text{ kg.cm}$$

▪ Tegangan serat atas

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M_c}{S_a} \\ &= \frac{392220}{2380,549} \\ &= 164,760 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ijin} = 1933 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

▪ Tegangan serat bawah

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M_c}{S_b} \\ &= \frac{392220}{920,969} \\ &= 425,878 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ijin} = 1933 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

4.3.4. Perencanaan gelagar melintang (*floorbeam*)

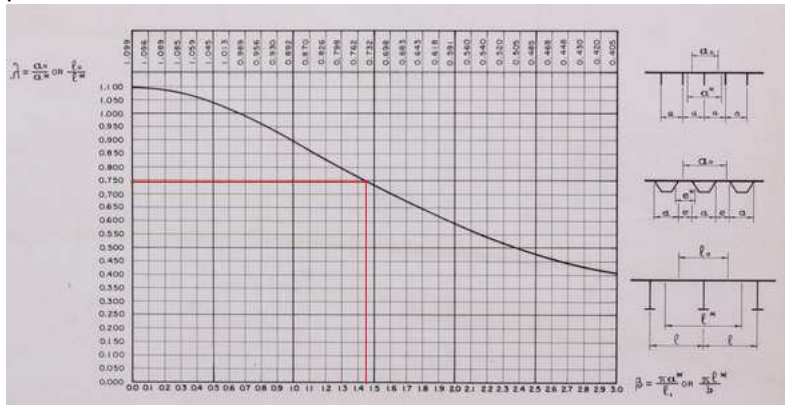
a. Lebar efektif gelagar melintang

$$b^* = 6,45 \text{ m}$$

$$l^* = 3 \text{ m}$$

$$\beta = \frac{\pi \cdot l^*}{b^*} = \frac{\pi \cdot 3}{6,45}$$

$$\beta = 1,46$$



Gambar 4.13. Grafik perhitungan lebar efektif

Dari grafik di atas didapatkan nilai $l = 0,75$ sehingga besarnya lebar efektif gelagar melintang adalah:

$$l_0 = 0,75 \cdot 3 = 2,25 \text{ m}$$

b. Dimensi gelagar melintang (*floorbeam*)

Gelagar melintang direncanakan menggunakan profil WF 400 x 400 x 21 x 21 yang dipotong salah satu sayapnya sehingga menjadi profil T dengan ukuran sayap 408 x 21 mm dan ukuran badan 358 x 21 mm.

$$A_{\text{sayap}} = 8568 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{badan}} = 7518 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{pelat}} = 67500 \text{ mm}^2$$

$$y_b = \frac{8568 \cdot 10,5 + 7518 \cdot 200 + 67500 \cdot 394}{8568 + 7518 + 67500}$$

$$\begin{aligned}
 &= 337,240 \text{ mm} \\
 &= 33,724 \text{ cm} \\
 y_a &= (21+358+30)-337,240 \\
 &= 71,760 \text{ mm} \\
 &= 7,176 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{sayap}} &= \frac{1}{12} \cdot 408 \cdot 21^3 + 8568 \cdot (337,240 - 10,5)^2 \\
 &= 915026222,5 \text{ mm}^4 = 91502,62225 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{badan}} &= \frac{1}{12} \cdot 21 \cdot 358^3 + 7518 \cdot (337,240 - 21 - 179)^2 \\
 &= 221894904,7 \text{ mm}^4 = 22189,49047 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \cdot 2250 \cdot 30^3 + 67500 \cdot (71,760 - 15)^2 \\
 &= 222527088 \text{ mm}^4 = 22252,7088 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

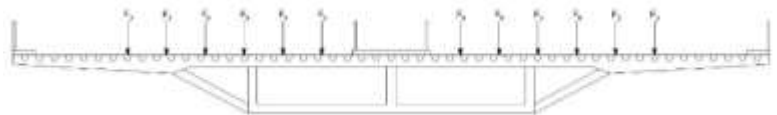
$$I_{\text{total}} = 135944,822 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned}
 S_a &= \frac{I_{\text{total}}}{y_a} = \frac{135944,822}{7,176} \\
 &= 18944,373 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_b &= \frac{I_{\text{total}}}{y_b} = \frac{135944,822}{33,724} \\
 &= 4031,100 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

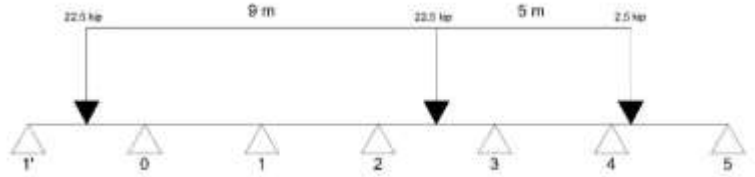
c. Kontrol tegangan gelagar melintang (*floorbeam*)

Pada perencanaan gelagar melintang digunakan beban truk yang bekerja pada semua lajur lalu lintas seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4.13. Pembebanan roda truk untuk floorbeam

Dengan nilai F_0 adalah besarnya beban roda truk disertai koefisien kejut sebesar 30%. Posisi roda truk dirubah sedemikian hingga didapatkan nilai beban terbesar. Dari pertimbangan tersebut didapatkan posisi roda seperti pada gambar 4.14. dengan rincian beban sebagai berikut:



Gambar 4.14. Beban F_0

Untuk bentang 0-1 berlaku persamaan:

$$R_0 = 1 - 2,916 \cdot \left(\frac{y}{l}\right)^2 + 1,196 \cdot \left(\frac{y}{l}\right)^3$$

$$y = 1,5 \quad \text{m} = 0,4572 \quad \text{ft}$$

$$l = 3 \quad \text{m} = 0,9144 \quad \text{ft}$$

$$R_0 = 1 - 2,916 \cdot \left(\frac{0,4572}{0,9144}\right)^2 + 1,196 \cdot \left(\frac{0,4572}{0,9144}\right)^3$$

$$R_0 = 0,4205$$

Sedangkan untuk bentang lainnya berlaku persamaaan:

$$R_0 = \left(-0,804 \cdot \frac{y}{l} + 1,392 \cdot \left(\frac{y}{l}\right)^2 - 0,588 \cdot \left(\frac{y}{l}\right)^3 \right) \cdot ((-0,268)^{m-1})$$

Bentang 2-3:

$$y = 1,5 \quad \text{m} = 0,4572 \quad \text{ft}$$

$$l = 3 \quad \text{m} = 0,9144 \quad \text{ft}$$

$$m = 2$$

$$R_0 = \left(-0,804 \cdot \frac{0,4572}{0,9144} + 1,392 \cdot \left(\frac{0,4572}{0,9144}\right)^2 - 0,588 \cdot \left(\frac{0,4572}{0,9144}\right)^3 \right) \cdot ((-0,268)^{2-1})$$

$$R_0 = 0,03417$$

Bentang 4-5:

$$y = 0,5 \text{ m} = 0,1524 \text{ ft}$$

$$l = 3 \text{ m} = 0,9144 \text{ ft}$$

$$m = 2$$

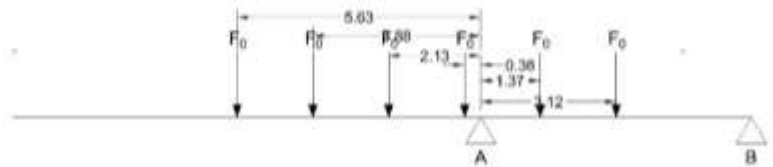
$$R_0 = \left(-0,804 \cdot \frac{0,1524}{0,9144} + 1,392 \cdot \left(\frac{0,1524}{0,9144} \right)^2 - 0,588 \cdot \left(\frac{0,1524}{0,9144} \right)^3 \right) \cdot ((-0,268)^{4-1})$$

$$R_0 = 0,001887$$

Sehingga didapat nilai F_0 :

$$F_0 = 1,3 \cdot (0,4205 \cdot 50,582 + 0,03417 \cdot 50,582 + 0,001887 \cdot 11,240)$$

$$F_0 = 29,925 \text{ kip}$$



Gambar 4.15. Perhitungan momen *floorbeam*

Persamaan momen pada titik A:

$$R_B \cdot 6,45 = (-5,63 - 3,88 - 2,13 - 0,38 + 1,37 + 3,12) \cdot F_0$$

$$R_B = \left(\frac{-7,53}{6,45} \right) \cdot F_0$$

$$R_B = 1,167 \cdot F_0 (\uparrow)$$

$$R_A = (7 + 1,167) \cdot F_0 = 7,167 \cdot F_0$$

$$M_A = (5,63 + 3,88 + 2,13 + 0,38) \cdot F_0$$

$$M_A = 12,02 \cdot F_0$$

$$M_A = 359,699 \text{ kip} \cdot \text{ft} = 4894701,66 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Dari nilai momen tersebut dilakukan kontrol terhadap tegangan yang terjadi pada gelagar melintang sebagai berikut:

- Tegangan pada serat atas

$$\sigma = \frac{M}{S_a} = \frac{4894701,66}{18944,373}$$

$$\sigma = 258,372 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 1933 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

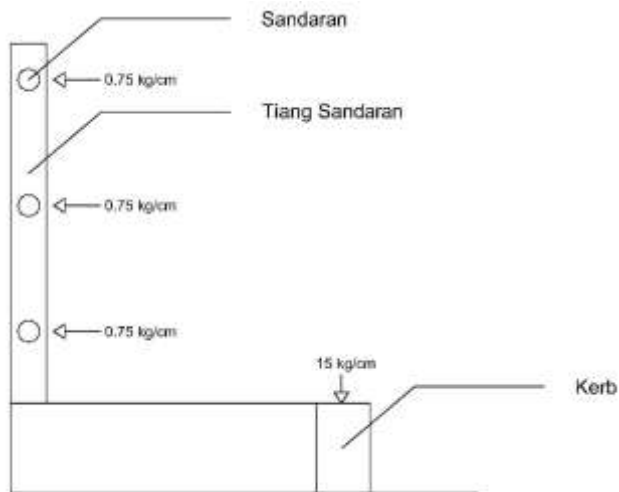
- Tegangan pada serat bawah

$$\sigma = \frac{M}{S_b} = \frac{4894701,66}{4031,100}$$

$$\sigma = 1214,238 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 1933 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

4.3.5. Perencanaan kerb dan tiang sandaran

Perencanaan kerb dan tiang sandaran seperti pada gambar 4.16.



Gambar 4.16. Perencanaan kerb dan tiang sandaran

a. Perencanaan kerb

Beban rencana yang bekerja di sepanjang bagian atas kerb sebesar 15 kN/m. Direncanakan bagian kerb sebagai berikut:

- Tebal : 25 cm
 - Lebar : 15 cm
 - Material :
 - Beton : f'_c 35 MPa
 - Baja tulangan : $\varnothing 12$ BJ 37
 - Decking : 2 cm
- $$M = 15 \cdot 0,15 \cdot 1 = 2,25 \text{ kN.m} = 22500 \text{ kg.cm}$$
- $$d = 25 - 2 - 0,5 \cdot 1,2 = 22,4 \text{ cm}$$
- $$R_n = \frac{M}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{22500}{0,8 \cdot 15 \cdot 22,4^2} = 3,737 \text{ kg/cm}^2$$
- $$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{240}{0,85 \cdot 35} = 8,067$$
- $$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,006$$
- $$\rho_{\text{bal}} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,814}{240} \cdot \frac{600}{600 + 240}$$
- $$\rho_{\text{bal}} = 0,072$$
- $$\rho_{\text{max}} = 0,75 \cdot \rho_{\text{bal}} = 0,75 \cdot 0,072 = 0,054$$
- $$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$
- $$\rho = \frac{1}{8,067} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 8,067 \cdot 3,737}{2400}} \right) = 0,002$$
- $$\rho < \rho_{\min} \rightarrow \rho = 0,006$$
- $$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,006 \cdot 150 \cdot 224 = 201,6 \text{ mm}^2$$
- $$A_{\phi 12} = \frac{\pi}{4} \cdot 12^2 = 113,097 \text{ mm}^2$$
- $$n = \frac{A_s}{A_{\phi 12}} = \frac{201,6}{113,097} = 1,78 \approx 2 \text{ buah}$$

b. Perencanaan sandaran dan tiang sandaran

Beban yang bekerja pada sandaran sebesar 0,75 kN/m = 75 kg/m. Direncanakan sandaran berupa pipa bulat dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$D = 60,5 \text{ mm}$$

$$W = 3,3 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban} & : 75 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 2\text{m} = 150 \text{ kN} \\
 \text{Berat sendiri} & : 0,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 2\text{m} = 6,6 \text{ kN} \\
 \text{Total} & : 156,6 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen} : \frac{1}{4} \cdot P \cdot l &= \frac{1}{4} \cdot 156,6 \cdot 2 = 78,3 \text{ kg.m} \\
 M &= 7830 \text{ kg.cm}
 \end{aligned}$$

$$\tau = \frac{M}{w} = \frac{7830}{5,9} = 1327,9 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < \tau_{ijin} \text{ (OK)}$$

Direncanakan tiang sandaran dari baja profil WF 100x50x5x7 (BJ 37).

$$M = 1,5 \cdot 90 + 1,5 \cdot 55 + 1,5 \cdot 20 = 247,5 \text{ kN.cm} = 24750 \text{ kg.cm}$$

Tegangan yang terjadi:

$$\sigma = \frac{M}{w} = \frac{24750}{37,5} = 660 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < \tau_{ijin} \text{ (OK)}$$

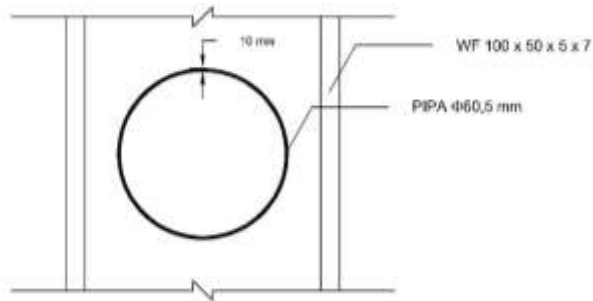
Perencanaan sambungan las:

Sambungan las tiang sandaran dan sandaran menggunakan las tipe FE60xx, $t = 1 \text{ cm}$.

$$\phi f_n = 0,75 \cdot 0,6 \cdot 60 \cdot 70,3 = 1898,1 \text{ kg/cm}^2$$

- Sandaran

Rencana sambungan las pada sandaran ditunjukkan pada gambar 4.17.



Gambar 4.17. Sambungan las sandaran

Berat sendiri : $0,033 \cdot 200 = 6,6 \text{ kg}$
 Beban : $0,75 \cdot 200 = 150 \text{ kg}$
 Momen : $0,75 \cdot 200 \cdot 100 = 1500 \text{ kg.cm}$

$$A = 19,007 \cdot 1 = 19,007 \text{ cm}^2$$

$$f_{\text{total}} = \sqrt{\left(\frac{6,6}{19,007}\right)^2 + \left(\frac{150}{19,007} + \frac{15000}{17,8}\right)^2}$$

$$f_{\text{total}} = 850,589 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_{\text{e perlu}} = \frac{850,589}{1898,1} = 0,448 \text{ cm}$$

$$a_{\text{perlu}} = \frac{0,448}{0,707} = 0,634 \text{ cm}$$

Dipakai $a = 1 \text{ cm}$

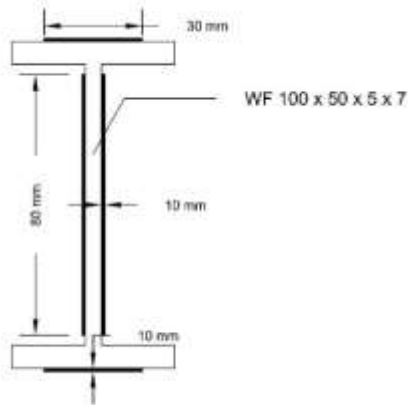
- Tiang sandaran

Rencana sambungan las pada tiang sandaran ditunjukkan pada gambar 4.18.

Berat sendiri : $0,093 \cdot 125 + 3 \cdot 0,033 \cdot 200$
 : $31,425 \text{ kg}$

Beban : $0,75 \cdot 200 \cdot 3$
 : 450 kg

Momen : $0,75 \cdot 200 \cdot (115 + 80 + 45)$
 : 36000 kg.cm



Gambar 4.18. Sambungan las tiang sandaran

$$A = 2 \cdot (30 + 80) \cdot 10 = 2200 \text{ mm}^2 = 22 \text{ cm}^2$$

$$I = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 8^3 + 3 \cdot 1 \cdot 5^2 \right) = 235,333 \text{ cm}^4$$

$$S_x = \frac{I}{y} = \frac{235,333}{5} = 47,067 \text{ cm}^3$$

$$f_{\text{total}} = \sqrt{\left(\frac{31,425}{22} \right)^2 + \left(\frac{450}{22} + \frac{360000}{47,076} \right)^2}$$

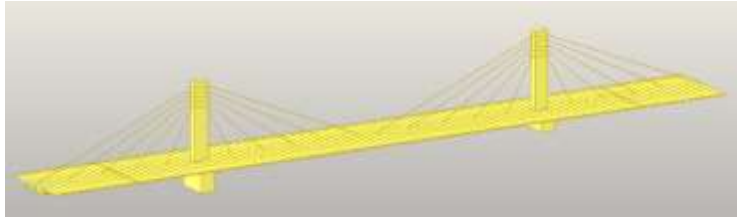
$$f_{\text{total}} = 785,323 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_{\text{e perlu}} = \frac{785,323}{1898,1} = 0,414 \text{ cm}$$

$$a_{\text{perlu}} = \frac{0,414}{0,707} = 0,586 \text{ cm}$$

4.4. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur pada software MIDAS 7.06 seperti pada gambar 4.19. Pada pemodelan tersebut data yang dibutuhkan adalah material struktur, penampang komponen struktur (gelagar utama, kabel, dan pilon), dan beban yang bekerja pada struktur. Struktur dimodelkan dengan perletakan sendi-rol yang memungkinkan struktur untuk bergerak bebas dalam arah memanjang. Pemodelan dilakukan dalam 2 (dua) kondisi yaitu saat semua kabel terpasang dan saat salah satu kabel terputus.



Gambar 4.19. Pemodelan

4.5. Analisis Gelagar Utama

4.5.1. Kontrol Kekakuan Gelagar Terhadap Lateral Buckling

Luas penampang box :

$$A = 36.199 \text{ cm}^2$$

Momen inersia penampang :

$$I_x = 3,25 \cdot 10^8 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2,535 \cdot 10^{10} \text{ cm}^4$$

$$M_n = \frac{\pi}{L} \cdot \sqrt{E \cdot I_x \cdot G \cdot J}$$

Keterangan :

M_n : kapasitas momen penampang (kg.cm)

L : jarak floorbeam (cm)

E : modulus elastisitas (200.000 MPa)

I_x : momen inersia sumbu lemah (cm⁴)

G : modulus geser bahan (80.000 MPa)

J : konstanta puntir (cm⁴)

$$J = \frac{4 \cdot A^2}{\sum \frac{1}{t}}, \text{ dimana } P = \text{keliling penampang}$$

boks dan t = tebal pelat penyusun boks

$$J = \frac{4 \cdot 36199^2}{\frac{12066,3}{3}} = 1303160 \text{ cm}^4$$

$$M_n = \frac{\pi}{3000} \cdot \sqrt{2 \cdot 10^6 \cdot 3,25 \cdot 10^8 \cdot 8 \cdot 10^8 \cdot 1303160}$$

$$M_n = 8,62 \cdot 10^{11} \text{ kg.cm}$$

Beban yang bekerja pada gelagar sebagai berikut:

a. Beban mati

• Penghalang	: 1560	kg/m
• Ribs	: 2925,287	kg/m
• Perkerasan	: 6732	kg/m
• Median	: 1170	kg/m
• Boks	: 31215,53	kg/m
• Total	: 43602,81	kg/m

b. Beban hidup

• BTR	: 33587,44	kg/m
• BGT	: 333087,4	kg

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot P \cdot L$$

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot (43602,81 + 33587,44) \cdot 3^2 + \frac{1}{4} \cdot 333087,4 \cdot 3$$

$$M_u = 3,367 \cdot 10^5 \text{ kg.m} = 3,367 \cdot 10^7 \text{ kg.cm}$$

$$M_u = 3,367 \cdot 10^7 \text{ kg.cm} < M_n = 8,62 \cdot 10^{11} \text{ kg.cm}$$

Struktur aman terhadap lateral buckling.

4.5.2. Kontrol terhadap torsi

Gelagar dikontrol terhadap torsi dengan kondisi beban lajur hanya bekerja pada satu jalur dengan perhitungan sebagai berikut:

$$q = 11,562 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{BTR } 100\%} &= 11,562 \times 11 \times 100\% \times 306 \\ &= 38917,692 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{BGT } 100\%} &= 114,66 \times 11 \times 100\% \times 306 \\ &= 1261,26 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{2} \times 11 + 3,3 + \frac{1}{2} \times 3,5 \\ &= 10,55 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{BTR\ 50\%} &= 11,562 \times 3,3 \times 50\% \times 306 \\ &= 5837,654 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{BGT\ 50\%} &= 114,66 \times 3,3 \times 50\% \\ &= 189,189 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{2} \times (14,3 - 11) + \frac{1}{2} \times 3,5 \\ &= 3,4 \quad \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{BTR} &= (38917,692 + 1261,26) \times 10,55 \\ &\quad + (5837,654 + 189,189) \times 3,4 \\ &= 444379,21 \quad \text{kN.m} \\ &= 4,444 \times 10^4 \quad \text{t.m} \end{aligned}$$

$$M_n = 8,62 \times 10^6 \quad \text{t.m}$$

4.5.3. Kontrol Terhadap Fatik

Direncanakan jembatan melayani beban 500.000 siklus. Berdasarkan RSNI T-03-2005 besarnya tegangan yang terjadi dirumuskan sebagai berikut:

a. Tegangan normal nominal

$$(f_f)^3 = 2 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{f_{rn}^3}{n_{sc}} \right); n_{sc} < 5 \cdot 10^6$$

$$(f_f)^3 = 2 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{71^3}{5 \cdot 10^5} \right) = 1431644 \text{ MPa}$$

$$f_f = 112,705 \text{ MPa} = 1127,05 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

b. Tegangan geser nominal

$$(f_f)^5 = 2 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{f_{rs}^5}{n_{sc}} \right); n_{sc} < 10^{18}$$

$$(f_f)^5 = 2 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{71^5}{5 \cdot 10^5} \right) = 7216917404 \text{ MPa}$$

$$f_f = 93,685 \text{ MPa} = 936,85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Dari hasil analisis pemodelan didapatkan nilai tegangan maksimum yang terjadi sebesar 2,56 kg/cm². (tabel terlampir)

4.5.4. Kontrol Terhadap Gaya Aksial

Luas penampang box :

$$A = 36.199 \text{ cm}^2$$

Momen inersia penampang :

$$I_x = 3,25 \cdot 10^8 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2,535 \cdot 10^{10} \text{ cm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{3,25 \cdot 10^8}{36199}} = 94,752 \text{ cm}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,535 \cdot 10^{10}}{36199}} = 836,825 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{L_k}{i_x} = \frac{3000}{94,752} = 31,662$$

$$\lambda_y = \frac{L_k}{i_y} = \frac{15000}{836,825} = 17,923$$

$$\lambda_x > \lambda_y$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{31,662}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{290}{2 \cdot 10^6}} = 0,384$$

$$\omega = \frac{1,4}{1,6 - 0,67 \cdot \lambda_c} = \frac{1,4}{1,6 - 0,67 \cdot 0,384} = 1,043$$

Dari hasil analisis dengan program bantu MIDAS 7.06 didapatkan nilai P maksimum sebesar 8411660 kg. Sehingga didapatkan besarnya tegangan yang terjadi:

$$\sigma = \frac{\omega \cdot P}{A} = \frac{1,043 \cdot 8411660}{36199} = 242,365 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma = 242,365 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < \sigma_{\text{dasar}} = 1933 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

4.5.5. Kontrol Tegangan Lentur yang Terjadi pada Gelagar

Luas penampang box :

$$A = 36.199 \text{ cm}^2$$

Momen inersia penampang :

$$I_x = 3,25 \cdot 10^8 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 2,535 \cdot 10^{10} \text{ cm}^4$$

Garis netral :

$$y_b = 1,538 \text{ m}$$

$$y_a = 1,062 \text{ m}$$

Modulus section :

$$w_b = \frac{I_x}{y_b} = \frac{3,25 \cdot 10^8}{1,538} = 2,113 \cdot 10^8 \text{ cm}^3$$

$$w_a = \frac{I_x}{y_a} = \frac{3,25 \cdot 10^8}{1,062} = 3,060 \cdot 10^8 \text{ cm}^3$$

Untuk mendapatkan nilai tegangan yang terjadi diperlukan data momen terbesar arah x. Dari program bantu MIDAS 7.06 didapatkan nilai M_x terbesar yaitu -35715534 kg.m sehingga besarnya tegangan yang terjadi yaitu:

$$\sigma = \frac{M_x}{w} = \frac{35715534}{2,113 \cdot 10^8} = 0,169 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma = 0,169 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < \sigma_{\text{dasar}} = 1933 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

4.5.6. Kontrol Lendutan Gelagar

$$\Delta = \frac{L}{800} > \Delta_{\text{terjadi}}$$

$$\Delta = \frac{306}{800} = 0,3825 \text{ m}$$

Dari program bantu MIDAS 7.06 didapatkan nilai lendutan terbesar 0,0997 m sehingga disimpulkan bahwa struktur aman terhadap lendutan.

4.5.7. Perencanaan sambungan las

Sambungan las direncanakan menggunakan las F_{70xx} pada bagian:

a. Sambungan antar segmen box girder

Direncanakan sambungan berupa las tumpul penetrasi penuh berdasarkan tegangan yang terjadi pada box girder.

$$\begin{aligned}\sigma &: -2600000 \quad \text{kg/m}^2 \\ T &= \sigma \times t \times 1 \text{ m} = 2600000 \times 0.03 \times 1 \\ &= 78000 \text{ kg}\end{aligned}$$

Direncanakan sambungan las tumpul dengan tebal 2,1 cm (sesuai tebal pelat yang disambung). Kekuatan las tumpul ditentukan oleh bagian paling lemah dari elemen yang disambung dalam hal ini adalah pelat dengan mutu BJ 50.

Kekuatan nominal pelat terhadap leleh:

$$\begin{aligned}R_n &= \phi \times A_g \times f_y \\ &= 0.9 \times 3 \times 100 \times 2900 \\ &= 783000 \quad \text{kg}\end{aligned}$$

$$T < R_n \text{ (OK)}$$

b. Sambungan antara pelay strut dengan boks

Sambungan berupa las tumpul yang dihitung berdasarkan tegangan yang terjadi pada bagian bawah penampang gelagar.

$$\begin{aligned}\sigma &: 1650000 \quad \text{kg/m}^2 \\ T &= \sigma \times t \times 1 \text{ m} \\ &= 1650000 \times 0.03 \times 1 \\ &= 49500 \quad \text{kg}\end{aligned}$$

Direncanakan sambungan las tumpul dengan tebal 2,1 cm (sesuai tebal pelat yang disambung). Kekuatan las tumpul ditentukan oleh bagian paling lemah dari elemen yang disambung dalam hal ini adalah pelat dengan mutu BJ 50.

Kekuatan nominal pelat terhadap leleh:

$$\begin{aligned} R_n &= f \times A_g \times f_y \\ &= 0.9 \times 3 \times 100 \times 2900 \\ &= 783000 \quad \text{kg} \end{aligned}$$

$$T < R_n \text{ (OK)}$$

c. Sambungan antara rib dan pelat lantai

Sambungan antara rib dan pelat lantai direncanakan berdasarkan tegangan yang terjadi pada bagian atas gelagar serta momen yang terjadi akibat beban roda truk sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma &: -2600000 \quad \text{kg/m}^2 \\ T &= 2600000 \times 0.006643 \\ &= 17271,8 \quad \text{kg} \\ M_s &: -49758,936 \quad \text{kg.cm} \\ M_c &: 392220 \quad \text{kg.cm} \end{aligned}$$

Direncanakan sambungan las sudut dengan tebal 1 cm.

$$\begin{aligned} A &= 2 \times 0,01 \text{ m} \times 1 \text{ m} \\ &= 0,02 \text{ m}^2 \\ &= 200 \text{ cm}^2 \\ S &= 2 \times \frac{1}{6} \times 100^2 \times 1 \\ &= 3333,333 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{vp} &= \frac{T}{A_{las}} \\ &= \frac{17271,8}{200} \\ &= 86,359 \quad \text{kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{vm} &= \frac{M}{S} \\
 &= \frac{392220}{333,333} \\
 &= 117,666 \quad \text{kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{total} &= \sqrt{\sigma_{vp}^2 + \sigma_{vm}^2} \\
 &= 145,956 \quad \text{kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Las 1 cm:

$$\begin{aligned}
 \phi \sigma_n &= \phi \times 0.6 \times \text{FE70xx} \times 1 \\
 &= 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3 \times 1 \\
 \phi \sigma_n &= 2214 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal las: } t_e &= \frac{\sigma_{total}}{f \sigma_n} \times 1 \text{ cm} \\
 &= \frac{145,956}{2214} \times 1 \\
 &= 0,066 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{t_e}{0,707} = \frac{0,066}{0,707} \\
 &= 0,093 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$t_{max} = 3 \text{ cm, dipakai } a = 6 \text{ mm}$$

d. Sambungan Antara rib dan floorbeam

Sambungan antara rib dan floorbeam direncanakan berdasarkan momen yang terjadi akibat beban roda truk sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_s &: -49758,936 \quad \text{kg.cm} \\
 M_c &: 392220 \quad \text{kg.cm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan sambungan las sudut dengan tebal 1 cm.

$$\begin{aligned}
 A &= (10,477 \cdot 2 + 6,5) \cdot 2,54 \cdot 1 \\
 &= 69,733 \quad \text{cm}^2
 \end{aligned}$$

$$y_b = \frac{(6,5 \cdot 2,54) \cdot 1 \cdot 0,5 + 2 \cdot (10,477 \cdot 2,54) \cdot \frac{10}{3} \cdot 2,54}{(6,5 \cdot 2,54) + (10,477 \cdot 2,54)}$$

$$= 6,580 \text{ cm}$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot (6,5 \cdot 2,54) \cdot 1^3 + (6,5 \cdot 2,54 \cdot 1) \cdot (6,580 - 0,5)^2 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 1 \cdot (10,477 \cdot 2,54)^3 + (10,477 \cdot 2,54 \cdot 1) \cdot \left(6,580 - \frac{10}{3} \cdot 2,54 \right)^2 \right)$$

$$= 3942,066 \text{ cm}^4$$

$$S = \frac{I}{y} = \frac{3942,066}{6,580}$$

$$= 599,098 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \sigma_{vm} &= \frac{M}{S} \\ &= \frac{392220}{599,098} \\ &= 654,684 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{total} &= \sqrt{\sigma_{vm}^2} \\ &= 654,684 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Las 1 cm:

$$\begin{aligned} \phi \sigma_n &= \phi \times 0,6 \times FE70_{xx} \times 1 \\ &= 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3 \times 1 \end{aligned}$$

$$\phi \sigma_n = 2214 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal las: } t_e &= \frac{\sigma_{total}}{f \cdot \sigma_n} \times 1 \text{ cm} \\ &= \frac{654,684}{2214} \times 1 \\ &= 0,296 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{t_e}{0,707} = \frac{0,296}{0,707} \\ &= 0,419 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$t_{\max} = 2,1 \text{ cm, dipakai } a = 6 \text{ mm}$$

e. Sambungan antara floorbeam dan dek

Sambungan antara floorbeam dan dek direncanakan berdasarkan momen yang terjadi akibat beban roda truk. Selain itu pada sambungan antarsegmen yang terdapat pada bagian atas floorbeam ditambahkan pelat penyambung dengan tebal 10 mm.

$$M : 4894701,66 \text{ kg.cm}$$

Direncanakan sambungan las sudut dengan tebal 1 cm.

$$\begin{aligned} A &= 2 \times 0,01 \text{ m} \times 1 \text{ m} \\ &= 0,02 \text{ m}^2 \\ &= 200 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 2 \times \frac{1}{6} \times 100^2 \times 1 \\ &= 3333,333 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{vm} &= \frac{M}{S} \\ &= \frac{4894701,66}{3333,333} \\ &= 1468,411 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{total}} &= \sqrt{\sigma_{vm}^2} \\ &= 1468,411 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Las 1 cm:

$$\begin{aligned} \phi \sigma_n &= \phi \times 0,6 \times \text{FE70xx} \times 1 \\ &= 0,75 \times 0,6 \times 70 \times 70,3 \times 1 \end{aligned}$$

$$\phi \sigma_n = 2214 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal las: } te &= \frac{\sigma_{\text{total}}}{f \cdot \sigma_n} \times 1 \text{ cm} \\ &= \frac{1468,411}{2214} \times 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,663 \text{ cm} \\
 a &= \frac{t_c}{0,707} = \frac{0,066}{0,707} \\
 &= 0,938 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dipakai $a = 10 \text{ mm}$

4.6. Analisis Kabel

Analisis kabel untuk mengetahui jika jumlah strand yang digunakan dapat memikul gaya yang akan terjadi saat jembatan beroperasi. Jumlah strand/ luas strand (A_{sc}) yang didapat dari preliminary design akan dimodelkan pada software sehingga didapat nilai gaya aksial yang terjadi pada kabel (P). Dari gaya aksial (P) akan dihitung jumlah strand yang sesuai (A_{sc}^*) yang kemudian akan dimodelkan kembali pada software. Dari pemodelan berdasarkan luas strand yang sesuai (A_{sc}^*) akan didapatkan nilai gaya aksial baru (P^*). Gaya aksial baru (P^*) akan dibandingkan dengan kekuatan aksial nominal strand dari preliminary design (A_{sc}). Analisis kabel dilakukan dalam 2 kondisi yaitu saat semua kabel terpasang dan saat salah satu kabel putus dengan hasil analisis sebagai berikut:

4.6.1. Kondisi semua kabel terpasang

- a. Jumlah strand berdasarkan hasil preliminary design (A_{sc}) dan gaya aksial (P)

Jumlah strand awal perencanaan kabel dan gaya aksial yang didapat dari pemodelan dapat dilihat pada tabel 4.9.

- b. Jumlah strand yang sesuai (A_{sc}^*)

Untuk mendapatkan jumlah/ luasan strand yang sesuai digunakan rumus:

$$A = \frac{P}{0,8 \cdot f_u}$$

Contoh perhitungan:

Kabel M5

$$P = 34450811 \quad N$$

$$F_u = 1860 \quad \text{MPa}$$

$$A_{sc}^* = \frac{34450811}{0,8 \cdot 1860} = 23152,427 \quad \text{mm}^2$$

$$n = \frac{A}{140} = \frac{23152,427}{140}$$

$$n = 165,374 \approx 169 \text{ strand}$$

Hasil perhitungan jumlah strand yang sesuai dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.9. Asc dan P

ID	P (N)	Asc taksiran (mm ²)	n taksiran	n	Asc (mm ²)
S5	35118348	26187.90817	188	186	26040
S4	33680859	23139.61841	166	162	22680
S3	27231800	19503.74749	140	150	21000
S2	17643762	15460.95685	111	132	18480
S1	6390833	11584.09575	83	88	12320
M1	6439366	11584.09575	83	88	12320
M2	17353616	15460.95685	111	132	18480
M3	26779365	19503.74749	140	150	21000
M4	33001248	23139.61841	166	162	22680
M5	34450785	26187.90817	188	186	26040
M5	34450811	26187.90817	188	186	26040
M4	33005912	23139.61841	166	162	22680
M3	26785916	19503.74749	140	150	21000
M2	17358564	15460.95685	111	132	18480
M1	6441309	11584.09575	83	88	12320
S1	6315815	11584.09575	83	88	12320
S2	17409568	15460.95685	111	132	18480
S3	27240206	19503.74749	140	150	21000
S4	33686859	23139.61841	166	162	22680
S5	35119469	26187.90817	188	186	26040

Tabel 4.10. Asc*

ID	n*	Asc* (mm ²)	ID	n*	Asc* (mm ²)
S5	169	23660	M5	169	23660
S4	162	22680	M4	162	22680
S3	131	18340	M3	131	18340
S2	85	11900	M2	85	11900
S1	31	4340	M1	31	4340
M1	31	2940	S1	31	2940
M2	85	11760	S2	85	11760
M3	131	19320	S3	131	19320
M4	162	24360	S4	162	24360
M5	169	26040	S5	169	26040

- c. Gaya aksial baru (P^*) dan kekuatan aksial nominal strand (Asc)

Dari hasil perhitungan jumlah strand yang sesuai (Asc^*) kemudian dilakukan pemodelan dengan menggunakan software sehingga didapat nilai P^* . Nilai ini kemudian dibandingkan dengan kekuatan nominal kabel seperti pada contoh berikut:

Kabel M5

$$\begin{aligned}
 P^* &= 34450811 \quad \text{N} \\
 n_{\text{pakai}} &= 186 \quad \text{strand} \\
 Asc &= 26040 \quad \text{mm}^2 \\
 f_u &= 1860 \quad \text{MPa} \\
 P_n &= A_{sc} \times 0,8 \times f_u \\
 &= 26040 \times 0,8 \times 1860 \\
 &= 38747520 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

$P_n > P^*$ (kabel tahan terhadap gaya aksial)

Tabel 4.11. P* dan Pn

ID	P (N)	n aktual	Asc aktual (mm2)	Pn (N)	Ket.
S5	34950204	186	26040	38747520	OK
S4	33529129	162	22680	33747840	OK
S3	27493684	150	21000	31248000	OK
S2	18313647	132	18480	27498240	OK
S1	7074796	88	12320	18332160	OK
M1	7159194	88	12320	18332160	OK
M2	18183243	132	18480	27498240	OK
M3	27085424	150	21000	31248000	OK
M4	32831284	162	22680	33747840	OK
M5	34324442	186	26040	38747520	OK
M5	34324332	186	26040	38747520	OK
M4	32836169	162	22680	33747840	OK
M3	27091060	150	21000	31248000	OK
M2	18186331	132	18480	27498240	OK
M1	7159848	88	12320	18332160	OK
S1	7039230	88	12320	18332160	OK
S2	18194160	132	18480	27498240	OK
S3	27501474	150	21000	31248000	OK
S4	33535398	162	22680	33747840	OK
S5	34951152	186	26040	38747520	OK

4.6.2. Kondisi salah satu kabel putus

Pada kondisi ini salah satu kabel pada M5 terputus sehingga yang sebelumnya terpasang 186 strand terbagi dalam 6 selongsong masing-masing berisi 31 strand hanya menyisakan 5 selongsong kabel dengan luasan baru.

- a. Jumlah strand berdasarkan hasil preliminary design (Asc) dan gaya aksial (P)

Tabel 4.12. Asc dan P

ID	P (N)	Asc (mm2)	n taksiran	n aktual	Asc aktual (mm2)	Pn (N)	Ket.
S5	35155286	26187.90817	188	186	26040	38747520	OK
S4	33701664	23139.61841	166	162	22680	33747840	OK
S3	27256313	19503.74749	140	150	21000	31248000	OK
S2	17668953	15460.95685	111	132	18480	27498240	OK
S1	6405961	11584.09575	83	88	12320	18332160	OK
M1	6429214	11584.09575	83	88	12320	18332160	OK
M2	17308081	15460.95685	111	132	18480	27498240	OK
M3	26742342	19503.74749	140	150	21000	31248000	OK
M4	32958651	23139.61841	166	162	22680	33747840	OK
M5	34708334	26187.90817	188	186	26040	38747520	OK
M5	34452532	26187.90817	188	186	26040	38747520	OK
M4	32994071	23139.61841	166	162	22680	33747840	OK
M3	26779317	19503.74749	140	150	21000	31248000	OK
M2	17340846	15460.95685	111	132	18480	27498240	OK
M1	6447933	11584.09575	83	88	12320	18332160	OK
S1	6304582	11584.09575	83	88	12320	18332160	OK
S2	17410052	15460.95685	111	132	18480	27498240	OK
S3	27235232	19503.74749	140	150	21000	31248000	OK
S4	33675741	23139.61841	166	162	22680	33747840	OK
S5	35120165	26187.90817	188	186	26040	38747520	OK

- b. Jumlah strand yang sesuai (Asc*)

Untuk mendapatkan jumlah/ luasan strand yang sesuai digunakan rumus:

$$A = \frac{P}{0,8 \cdot f_u}$$

Contoh perhitungan:

Kabel M5

$$P = 34708334 \quad N$$

$$F_u = 1860 \quad MPa$$

$$Asc^* = \frac{34708334}{0,8 \cdot 1860} = 23325,493 \quad mm^2$$

$$n = \frac{A}{140} = \frac{23325,493}{140}$$

$$n = 166,611 \approx 169 \text{ strand}$$

Hasil perhitungan jumlah strand yang sesuai dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.13. Asc*

ID	n*	Asc* (mm ²)
S5	169	0.02366
S4	162	0.02268
S3	131	0.01834
S2	85	0.0119
S1	31	0.00434
M1	31	0.00434
M2	85	0.0119
M3	131	0.01834
M4	162	0.02268
M5	169	0.02366

ID	n*	Asc* (mm ²)
M5	169	0.02366
M4	162	0.02268
M3	131	0.01834
M2	85	0.0119
M1	31	0.00434
S1	31	0.00434
S2	85	0.0119
S3	131	0.01834
S4	162	0.02268
S5	169	0.02366

- c. Gaya aksial baru (P^*) dan kekuatan aksial nominal strand (Asc)

Dari hasil perhitungan jumlah strand yang sesuai (Asc*) kemudian dilakukan pemodelan dengan menggunakan software sehingga didapat nilai P^* . Nilai ini kemudian dibandingkan dengan kekuatan nominal kabel seperti pada contoh berikut:

Kabel M5

$$\begin{aligned} P^* &= 34708334 \quad \text{N} \\ n_{\text{pakai}} &= 186 \quad \text{strand} \\ \text{Asc} &= 26040 \quad \text{mm}^2 \\ f_u &= 1860 \quad \text{MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= A_{sc} \times 0,8 \times f_u \\ &= 26040 \times 0,8 \times 1860 \\ &= 38747520 \quad \text{N} \end{aligned}$$

$P_n > P^*$ (kabel tahan terhadap gaya aksial)

Tabel 4.14. P* dan Pn

ID	P (N)	n aktual	Asc aktual (mm ²)	Pn (N)	Ket.
S5	34954527	186	26040	38747520	OK
S4	33526747	162	22680	33747840	OK
S3	27496519	150	21000	31248000	OK
S2	18309560	132	18480	27498240	OK
S1	7080269	88	12320	18332160	OK
M1	7162428	88	12320	18332160	OK
M2	18181906	132	18480	27498240	OK
M3	27087575	150	21000	31248000	OK
M4	32828144	162	22680	33747840	OK
M5	34330986	186	26040	38747520	OK
M5	34330870	186	26040	38747520	OK
M4	32833020	162	22680	33747840	OK
M3	27093210	150	21000	31248000	OK
M2	18184995	132	18480	27498240	OK
M1	7163082	88	12320	18332160	OK
S1	7042593	88	12320	18332160	OK
S2	18193272	132	18480	27498240	OK
S3	27504304	150	21000	31248000	OK
S4	33533011	162	22680	33747840	OK
S5	34955469	186	26040	38747520	OK

4.7. Analisis Pilon

Pilon sebagai struktur yang menyalurkan gaya yang ditahan oleh kabel ke struktur abutmen dihitung sebagai kolom dengan mengacu pada RSNI T 12-2004. Dari hasil pemodelan struktur didapatkan gaya dalam pada pilon yang ditunjukkan oleh tabel 4.15. Dari hasil gaya dalam tersebut akan direncanakan penulangan pilon yang dibutuhkan.

Tabel 4.15. Gaya dalam pylon

Pylon	1	2
P (kN)	-122702	-121543
V (kN)	-20270.1	29391.85
Mx min (kN.m)	0	0
Mx max (kN.m)	-319395	366124.4
My min (kN.m)	0	0
My max (kN.m)	-3627.32	-4575.3

4.7.1. Analisa struktur pylon sebagai kolom

a. Kontrol kelangsingan pylon

Pada perencanaan pylon tidak memiliki pengaku arah lateral (kolom bergoyang) sehingga digunakan rumus berikut untuk mengontrol kelangsingan:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} < 22 \rightarrow \text{dihitung sebagai kolom pendek}$$

$$22 < \frac{k \cdot l_u}{r} < 100 \rightarrow \text{dihitung sebagai kolom langsing}$$

dengan menggunakan metode pembesaran momen

$$\frac{k \cdot l_u}{r} > 100$$


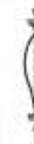








Untuk:

K = faktor panjang efektif kolom yang ditinjau. Nilai k dapat dilihat pada gambar 4.17.

Lu = panjang kolom yang ditinjau (m)

R = radius girasi kolom (m)

$$= \sqrt{\frac{I}{A}}$$

	Kolom Tak Berprestasi			Kolom Berprestasi		
Bentuk tekuk						
Faktor panjang efektif (k)	0.70	0.85	1.00	1.2	2.2	2.2
Simbol untuk keadaan perantara ujung	 = Rotasi terjepit, translasi terjepit  = Rotasi bebas, translasi terjepit			 = Rotasi terjepit, translasi bebas  = Rotasi bebas, translasi bebas		

Gambar 4.17. Faktor panjang efektif kolom
 Nilai parameter yang dibutuhkan untuk analisa struktur pylon sebagai berikut:

$$b = 3 \quad \text{m}$$

$$h = 6 \quad \text{m}$$

$$t = 1 \quad \text{m}$$

$$A = (3 \times 6) - (1 \times 4) \\ = 14 \quad \text{m}$$

$$I = \left(\frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 6^3 \right) - \left(\frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 4^3 \right) = 48,667 \text{ m}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{48,667}{14}} = 1,864 \text{ m}$$

$$Lu = 34,6 \text{ m}$$

$$K = 2,2 \text{ (kolom jepit-bebas, tanpa pengaku)}$$

$$\frac{k \cdot l_u}{r} = \frac{2,2 \cdot 34,6}{1,864}$$

$$\frac{k \cdot l_u}{r} = 40,837 > 22 \rightarrow \text{dihitung sebagai kolom}$$

langsing.

- b. Perhitungan tulangan lentur kolom langsing sesuai pasal 5.7.6.2 RSNI T 12 2004

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s}$$

$$\delta_s \cdot M_s = \frac{M_s}{1-Q} \geq M_s$$

$$Q = \frac{\sum P_u \cdot \Delta_0}{V_u \cdot l_c} < 0,05$$

$$Q = \frac{12270200 \cdot 0,01004}{2939185 \cdot 34,6} = 0,001$$

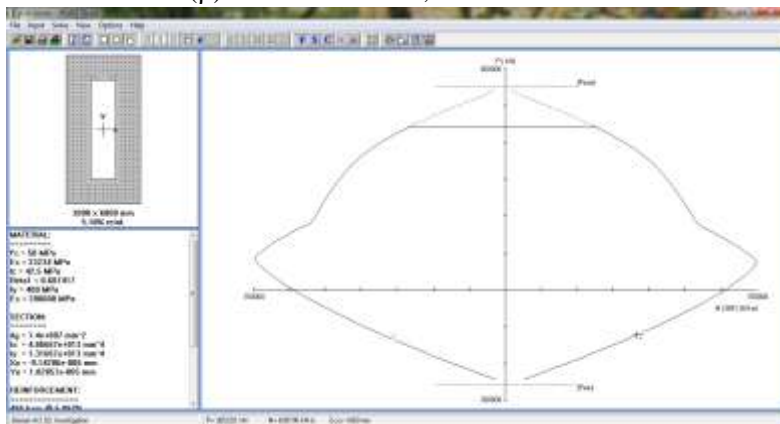
$$\delta_s \cdot M_{1s} = \frac{0}{1-0,001} = 0 \geq 0$$

$$M_1 = 36612440 + 0 = 36612440 \text{ kg.m}$$

$$\delta_s \cdot M_{2s} = \frac{0}{1-0,001} = 0 \geq 0$$

$$M_1 = 457530 + 0 = 457530 \text{ kg.m}$$

Dari hasil perhitungan momen tersebut kemudian direncanakan penulangan kolom dengan bantuan program PcaCol. Dari program tersebut didapatkan diagram interaksi seperti pada gambar 4.20 dan didapatkan perbandingan luas tulangan terhadap luas beton (ρ) adalah sebesar 5,10%.



Gambar 4.20. Penulangan PcaCol

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot A_g = 5,10\% \cdot (14000000) \\ &= 714000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 40 mm dengan luas A
 $= 1256,637 \text{ mm}^2$.

$$n = \frac{718200}{1256,637} = 568,183 \approx 570 \text{ buah}$$

c. Perhitungan tulangan geser

$$V_u : 29391,85 \quad \text{kN}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{0,3 \cdot N}{A_g}\right) \cdot \frac{\sqrt{f_c}}{6} \cdot A_g \\ &= \left(1 + \frac{0,3 \cdot 122702000}{14000000}\right) \cdot \frac{\sqrt{50}}{6} \cdot 14000000 \\ &= 59880886,36 \text{ N} \\ &= 59880,88636 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$0,5 \cdot 0,7 \cdot V_c = 20958,310 \text{ kN} < V_u = 29391,85 \text{ kN}$$

$$0,7 \cdot V_c = 41916,620 \text{ kN} > V_u = 29391,85 \text{ kN}$$

Karena nilai $\phi V_c > V_u$ maka dipasang tulangan geser minimum dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c} \cdot A_g \\ &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{50} \cdot 14000000 \\ &= 32998316,46 \text{ N} \\ &= 32998,31646 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= \frac{1}{3} \cdot A_g \\ &= \frac{1}{3} \cdot 14000000 \\ &= 4666666,667 \text{ N} \\ &= 4666,666667 \text{ kN} \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan geser $\phi 16$ -14 kaki dengan luas A = 2814,867 mm².

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s} \\ s &= \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{2814,867 \cdot 400 \cdot \left(6000 - 50 \cdot \frac{40}{2}\right)}{4666666,667} \end{aligned}$$

$$= 1430,654 \text{ mm}$$

Untuk $V_{s \text{ min}} < V_s$ maka:

$$S_{\text{maks}} \leq \frac{d}{4} = 1483 \text{ mm}$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser $\phi 16$ -14 kaki dengan jarak 600 mm.

4.8. Kontrol Dinamis

4.8.1. Frekuensi alami struktur

Frekuensi alami struktur terdiri dari frekuensi lentur dan frekuensi torsi yang didapatkan dari hasil pemodelan struktur:

$$f_b = 1,310 \text{ Hz}$$

$$f_t = 4,138 \text{ Hz}$$

4.8.2. Efek vortex shedding

a. Angka Strouhal

Perhitungan angka Strouhal digunakan untuk mencari nilai kecepatan angin. Pada perencanaan ini besarnya angka Strouhal yang dipakai sebesar 0,2.

$$S = \frac{f \cdot h}{V}$$

$$0,2 = \frac{1,310 \cdot 3,85}{V}$$

$$V = 25,2175 \text{ m/s}$$

b. Angka Reynolds

$$Re = \frac{V \cdot B}{\nu}$$

$$= \frac{V \cdot 34,1}{0,15 \cdot 10^{-4}}$$

$$= 57327783,33 > 10^7$$

Dilakukan penyesuaian dengan $Re = 10^7$ sehingga didapatkan:

$$V = \frac{Re \cdot \nu}{B}$$

$$= \frac{10^7 \cdot 0,15 \cdot 10^{-4}}{34,1}$$

$$= 4,399 \text{ m/s}$$

c. Gaya angkat

$$F_0 = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C_h$$

$$= \frac{1,3 \cdot 4,399^2}{2} \cdot (-0,4)$$

$$= -5,031 \text{ kN}$$

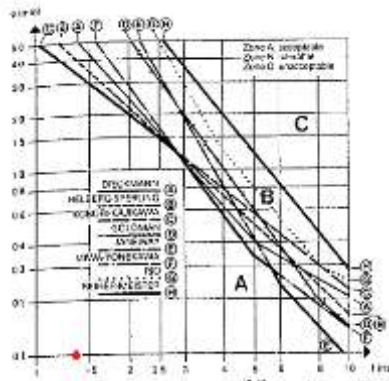
d. Amplitudo

$$\hat{v} = \frac{\pi}{\delta} \cdot \frac{F_0}{m} \cdot v_{\max}$$

$$= \frac{\pi}{0,05} \cdot \frac{503,1 \cdot 9,81}{31215,525} \cdot 0,01004$$

$$= 0,1$$

Setelah didapatkan besarnya amplitudo pergerakan, maka dapat diketahui kategori jembatan dengan menggunakan gambar grafik berikut:



Gambar 4.21. Kategori jembatan berdasarkan amplitudo dan frekuensi

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa jembatan termasuk dalam kategori *acceptable*.

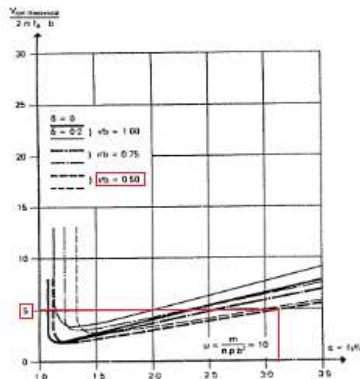
4.8.3. Efek flutter

a. Parameter rencana

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{f_r}{f_B} \\
 &= \frac{4,138}{1,310} \\
 &= 3,159 \\
 \mu &= \frac{m}{\pi \cdot \rho \cdot b^2} \\
 &= \frac{31215,525}{\pi \cdot 1,3 \cdot 34,1^2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,670 \\
 r &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\
 &= \sqrt{\frac{3,25 \cdot 10^8}{36199}} \\
 &= 94,752 \text{ cm} \\
 r/b &= \frac{0,94752}{34,1} = 0,02778
 \end{aligned}$$

b. Kecepatan kritis

Dari parameter rencana tersebut kemudian digunakan gambar 4.22. untuk mendapatkan rumusan kecepatan kritis.

Gambar 4.22. Grafik V_{kritis}




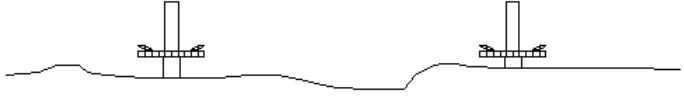

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{V_{\text{kritis teori}}}{2 \cdot \pi \cdot f_B \cdot b} \\
 V_{\text{kritis teori}} &= x \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_B \cdot b \\
 &= 5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1,310 \cdot 17,05 \\
 &= 701,690 \quad \text{m/s}
 \end{aligned}$$






$V_{\text{rencana}} = 30 \text{ m/s} < V_{\text{kritis teori}}$ (struktur aman terhadap flutter)



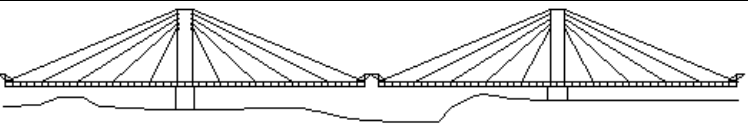
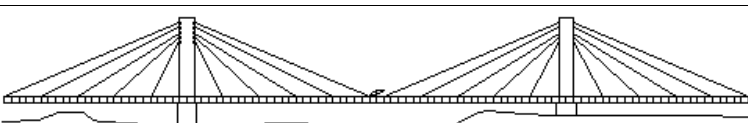
4.9. Metode Pelaksanaan

Dalam perencanaan jembatan dengan menggunakan system cable-stayed ini direncanakan menggunakan metode pelaksanaan balanced cantilever. Hal ini dikarenakan konstruksi jembatan berada jauh di atas permukaan tanah sehingga kurang memungkinkan jika digunakan perancah. Dalam metode balanced-cantilever digunakan traveler yang berjalan dari segmen awal yang berada tepat di atas abutmen menuju ke tengah bentang atau ke perletakan dan bekerja dari dua sisi. Urutan pekerjaan dengan metode balanced cantilever diperlihatkan pada tabel 4.16.

Tabel 4.16. Urutan pekerjaan

Tahap	Pekerjaan	Keterangan
1	Abutmen, pengecoran pylon (t = 2,6 m)	
2	Pengecoran pylon (t = 22 m), pemasangan segmen 1-2	
3	Instalasi dan setting traveler, launching traveler	
4	Pemasangan segmen 3-5	
5	Pemasangan tendon kabel 1 dilanjutkan stressing	

6	Pengecoran pylon ($t = 24$ m), pemasangan segmen 6-10	
7	Pemasangan tendon kabel 2 dilanjutkan stressing	
8	Pengecoran pylon ($t = 26$ m), pemasangan segmen 11-15	
9	Pemasangan tendon kabel 3 dilanjutkan stressing	
10	Pengecoran pylon ($t = 28$ m), pemasangan segmen 16-20	

11	Pemasangan tendon kabel 4 dilanjutkan stressing	
12	Pengecoran pilon ($t = 30$ m), pemasangan segmen 20-25	
13	Pemasangan tendon kabel 5 dilanjutkan stressing	
14	Pengecoran pilon ($t = 32$ m), pekerjaan closure	

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil modifikasi perencanaan yang dilakukan dalam tugas akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Jembatan direncanakan menggunakan gelagar *box girder* jenis *single twin cellular* dengan tebal pelat 2,1 cm. pada gelagar juga terdapat *ribs* sebagai pengaku arah memanjang berbentuk trapesium dengan tebal 0,375 in, tinggi 10 in, lebar atas 12,75 in, dan lebar bawah 6,5 in. juga terdapat *floorbeam* sebagai pengaku arah melintang dari profil WF 400 x 400 x 21 x 21 yang dipotong salah satu sayapnya.
2. Struktur kabel diameter 15,2 mm dan tegangan putus 1860 MPa direncanakan pada 5 titik dengan masing-masing titik memiliki jumlah kabel yang berbeda yaitu 6-31C15, 6-31C15, 6-25C15, 6-22CC15, dan 4-22C15. Struktur kabel dikontrol pada dua kondisi yaitu saat seluruh kabel terpasang dan saat salah satu kabel putus. Hasilnya diketahui bahwa jumlah kabel tersebut mampu menahan struktur pada dua kondisi yang ditinjau.
3. Pilon jembatan berbentuk segiempat berongga dengan dimensi 3 x 6 m dan tebal rongga 1 m dianalisis sebagai kolom langsing dan direncanakan memiliki tulangan lentur sebanyak 570 - $\phi 40$ dan tulangan geser 14 $\phi 16$ – 600 mm.
4. Struktur jembatan dapat dikatakan stabil karena tegangan yang terjadi serta gaya-gaya dalam yang

terjadi lebih kecil dibanding dengan kekuatan nominal material.

5. Lendutan yang terjadi pada jembatan kurang dari lendutan ijin yaitu sebesar 0,0997 m dibanding 0,3825 m sehingga jembatan dikatakan aman.
6. Kontrol jembatan terhadap pergerakan dinamis termasuk dalam kategori *acceptable* yang mana jika terjadi pergerakan akibat angin maka jembatan akan ikut bergerak tetapi masih dalam batas wajar. Selain itu kecepatan angin rencana yang digunakan dalam modifikasi (30 m/s) lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan angin kritis yang menimbulkan efek flutter (701,690 m/s) sehingga jembatan dikatakan aman.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis terhadap modifikasi perencanaan dalam tugas akhir ini antara lain:

1. Diharapkan modifikasi perencanaan ini dapat dijadikan alternatif pembangunan jembatan-jembatan selanjutnya karena berdasarkan hasil analisis struktur dinilai memadai serta sebagai penerapan teknologi dek ortotropik yang masih belum populer di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, W. dan Duan L. 2000. **Bridge Engineering Handbook: Superstructure Design**. CRC Press.
- Gimsing, N.J. dan Georgakis C.T. 2012. **Cable Supported Bridges**. John Wiley & Sons, Ltd.
- Podolny, W. dan Saczi J.B. 1986. **Construction and Design of Cable-Stayed Bridges**. John Wiley & Sons.
- Setiawan, A. 2008. **Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD**. Jakarta: Erlangga.
- Troitsky, M.S. 1988. **Cable-Stayed Bridges**. BSP Professional Books.
- Walther, R., Houriet B., Isler W., Moia P., dan Klein J.F. 1999. **Cable Stayed Bridges**. Thomas Telford.
- Xanthakos, P. P. 1994. **Theory and Design of Bridges**. John Wiley & Sons, Inc.
- American Association of State Highway Officials 1973: **“Standard Specifications for Highway Bridges”**.
- American Institute of Steel Construction 1963: **“Design Manual for Orthotropic Steel Plate Deck Bridges”**.
- Badan Standar Nasional Republik Indonesia 2004: **“RSNI T 12-2004 Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan”**.
- Badan Standar Nasional Republik Indonesia 2005: **“RSNI T 02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan”**.
- Badan Standar Nasional Republik Indonesia 2005: **“RSNI T 03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan”**.

Badan Standar Nasional Republik Indonesia 2008: “**RSNI 2833-2008 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan**”.

Tabel Perhitungan Momen pada Perletakan Ribs

	Not.	m	n	g_n	g_n^*	C'	K_n	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	M [*] _n /l	n/l	Qnx / Qo	(Qnx / Qo)*(n / l)
0	1	0	1	0.003	0.017	2.010	-0.266	4.064	-1.000	-1.266	1.000	-17.133	-7.90E-02	0.554	-4.37E-02
1	2	1	2	0.005	0.065	2.041	-0.262	2.160	-1.000	-1.262	1.000	-4.347	2.05E-02	0.499	1.02E-02
2	3	2	3	0.008	0.138	2.091	-0.255	1.576	-1.000	-1.255	1.000	-1.979	-4.99E-03	0.414	-2.07E-03
3	4	3	4	0.011	0.227	2.162	-0.245	1.318	-1.000	-1.245	1.000	-1.149	1.11E-03	0.310	3.44E-04
4	5	4	5	0.013	0.325	2.252	-0.234	1.185	-1.000	-1.234	1.000	-0.763	-2.20E-04	0.198	-4.37E-05
5	6	5	6	0.016	0.422	2.362	-0.222	1.112	-1.000	-1.222	1.000	-0.553	3.84E-05	0.091	3.48E-06
6	7	6	7	0.019	0.515	2.491	-0.210	1.069	-1.000	-1.210	1.000	-0.425	-5.81E-06	-0.002	8.75E-09
7	8	7	8	0.022	0.599	2.638	-0.197	1.043	-1.000	-1.197	1.000	-0.342	7.57E-07	-0.070	-5.33E-08
8	9	8	9	0.024	0.673	2.803	-0.184	1.027	-1.000	-1.184	1.000	-0.284	-8.50E-08	-0.112	9.48E-09
9	10	9	10	0.027	0.736	2.985	-0.172	1.018	-1.000	-1.172	1.000	-0.241	8.22E-09	-0.124	-1.02E-09
10	11	10	11	0.030	0.789	3.183	-0.161	1.011	-1.000	-1.161	1.000	-0.210	-6.90E-10	-0.113	7.76E-11
11	12	11	12	0.032	0.833	3.396	-0.151	1.008	-1.000	-1.151	1.000	-0.185	5.04E-11	-0.082	-4.13E-12
12	13	12	13	0.035	0.869	3.622	-0.141	1.005	-1.000	-1.141	1.000	-0.165	-3.24E-12	-0.041	1.33E-13
13	14	13	14	0.038	0.897	3.861	-0.132	1.003	-1.000	-1.132	1.000	-0.149	1.84E-13	0.002	2.77E-16
14	15	14	15	0.040	0.920	4.112	-0.123	1.002	-1.000	-1.123	1.000	-0.136	-9.34E-15	0.038	-3.57E-16
15	16	15	16	0.043	0.938	4.372	-0.116	1.001	-1.000	-1.116	1.000	-0.125	4.27E-16	0.063	2.70E-17
16	17	16	17	0.046	0.952	4.642	-0.109	1.001	-1.000	-1.109	1.000	-0.116	-1.77E-17	0.073	-1.30E-18
17	18	17	18	0.049	0.963	4.920	-0.103	1.001	-1.000	-1.103	1.000	-0.108	6.75E-19	0.069	4.63E-20
18	19	18	19	0.051	0.972	5.204	-0.097	1.000	-1.000	-1.097	1.000	-0.101	-2.37E-20	0.051	-1.22E-21
19	20	19	20	0.054	0.978	5.495	-0.092	1.000	-1.000	-1.092	1.000	-0.095	7.70E-22	0.026	2.02E-23
20	21	20	21	0.057	0.983	5.790	-0.087	1.000	-1.000	-1.087	1.000	-0.089	-2.34E-23	-0.002	3.53E-26
21	22	21	22	0.059	0.987	6.090	-0.083	1.000	-1.000	-1.083	1.000	-0.084	6.68E-25	-0.026	-1.77E-26
22	23	22	23	0.062	0.990	6.393	-0.079	1.000	-1.000	-1.079	1.000	-0.080	-1.80E-26	-0.044	7.94E-28
23	24	23	24	0.065	0.993	6.699	-0.075	1.000	-1.000	-1.075	1.000	-0.076	4.58E-28	-0.052	-2.38E-29
24	25	24	25	0.067	0.994	7.008	-0.072	1.000	-1.000	-1.072	1.000	-0.072	-1.11E-29	-0.049	5.47E-31
25	26	25	26	0.070	0.996	7.318	-0.069	1.000	-1.000	-1.069	1.000	-0.069	2.57E-31	-0.037	-9.59E-33
26	27	26	27	0.073	0.997	7.631	-0.066	1.000	-1.000	-1.066	1.000	-0.066	-5.68E-33	-0.019	1.09E-34
27	28	27	28	0.076	0.998	7.944	-0.063	1.000	-1.000	-1.063	1.000	-0.064	1.21E-34	0.002	1.82E-37
28	29	28	29	0.078	0.998	8.259	-0.061	1.000	-1.000	-1.061	1.000	-0.061	-2.46E-36	0.020	-5.02E-38
29	30	29	30	0.081	0.999	8.574	-0.059	1.000	-1.000	-1.059	1.000	-0.059	4.84E-38	0.034	1.65E-39
30	31	30	31	0.084	0.999	8.891	-0.056	1.000	-1.000	-1.056	1.000	-0.057	-9.19E-40	0.040	-3.71E-41
31	32	31	32	0.086	0.999	9.207	-0.054	1.000	-1.000	-1.054	1.000	-0.055	1.69E-41	0.038	6.48E-43
32	33	32	33	0.089	0.999	9.524	-0.053	1.000	-1.000	-1.053	1.000	-0.053	-2.99E-43	0.029	-8.74E-45
33	34	33	34	0.092	1.000	9.842	-0.051	1.000	-1.000	-1.051	1.000	-0.051	5.15E-45	0.015	7.67E-47
34	35	34	35	0.094	1.000	10.160	-0.049	1.000	-1.000	-1.049	1.000	-0.049	-8.61E-47	-0.002	1.30E-49
35	36	35	36	0.097	1.000	10.478	-0.048	1.000	-1.000	-1.048	1.000	-0.048	1.40E-48	-0.017	-2.33E-50
36	37	36	37	0.100	1.000	10.796	-0.046	1.000	-1.000	-1.046	1.000	-0.047	-2.20E-50	-0.028	6.12E-52

37	38	37	38	0.103	1.000	11.114	-0.045	1.000	-1.000	-1.045	1.000	-0.045	3.38E-52	-0.033	-1.11E-53
38	39	38	39	0.105	1.000	11.433	-0.044	1.000	-1.000	-1.044	1.000	-0.044	-5.05E-54	-0.031	1.59E-55
39	40	39	40	0.108	1.000	11.751	-0.043	1.000	-1.000	-1.043	1.000	-0.043	7.35E-56	-0.024	-1.76E-57
40	41	40	41	0.111	1.000	12.070	-0.041	1.000	-1.000	-1.041	1.000	-0.042	-1.04E-57	-0.012	1.26E-59
41	42	41	42	0.113	1.000	12.388	-0.040	1.000	-1.000	-1.040	1.000	-0.040	1.45E-59	0.002	2.18E-62
42	43	42	43	0.116	1.000	12.707	-0.039	1.000	-1.000	-1.039	1.000	-0.039	-1.96E-61	0.014	-2.78E-63
43	44	43	44	0.119	1.000	13.026	-0.038	1.000	-1.000	-1.038	1.000	-0.039	2.59E-63	0.024	6.10E-65
44	45	44	45	0.121	1.000	13.344	-0.038	1.000	-1.000	-1.038	1.000	-0.038	-3.35E-65	0.028	-9.34E-67
45	46	45	46	0.124	1.000	13.663	-0.037	1.000	-1.000	-1.037	1.000	-0.037	4.24E-67	0.027	1.13E-68
46	47	46	47	0.127	1.000	13.982	-0.036	1.000	-1.000	-1.036	1.000	-0.036	-5.24E-69	0.020	-1.06E-70
47	48	47	48	0.130	1.000	14.301	-0.035	1.000	-1.000	-1.035	1.000	-0.035	6.35E-71	0.010	6.43E-73
48	49	48	49	0.132	1.000	14.619	-0.034	1.000	-1.000	-1.034	1.000	-0.034	-7.54E-73	-0.002	1.14E-75
49	50	49	50	0.135	1.000	14.938	-0.034	1.000	-1.000	-1.034	1.000	-0.034	8.76E-75	-0.012	-1.09E-76
50	51	50	51	0.138	1.000	15.257	-0.033	1.000	-1.000	-1.033	1.000	-0.033	-9.99E-77	-0.020	2.04E-78
														Total	-3.53E-02

Tabel Perhitungan Momen pada Tengah Bentang Ribs

	Not.	m	n	g_n	g_n^*	C'	K_n	C_1	C_2	C_3	C_4	M_n^*/l	n/l	Qnx / Qo	(Qnx / Qo)*(n / l)
0	1	0	1	0.003	0.017	2.010	-0.266	0.158	-1.000	0.000	1.000	-6.205	0.170	0.554	9.41E-02
1	2	1	2	0.005	0.065	2.041	-0.262	0.308	-1.000	0.000	1.000	-1.526	0.167	0.499	8.35E-02
2	3	2	3	0.008	0.138	2.091	-0.255	0.445	-1.000	0.000	1.000	-0.661	0.164	0.414	6.78E-02
3	4	3	4	0.011	0.227	2.162	-0.245	0.563	-1.000	0.000	1.000	-0.358	0.159	0.310	4.92E-02
4	5	4	5	0.013	0.325	2.252	-0.234	0.662	-1.000	0.000	1.000	-0.219	0.153	0.198	3.03E-02
5	6	5	6	0.016	0.422	2.362	-0.222	0.743	-1.000	0.000	1.000	-0.144	0.147	0.091	1.33E-02
6	7	6	7	0.019	0.515	2.491	-0.210	0.806	-1.000	0.000	1.000	-0.100	0.140	-0.002	-2.11E-04
7	8	7	8	0.022	0.599	2.638	-0.197	0.855	-1.000	0.000	1.000	-0.071	0.133	-0.070	-9.39E-03
8	9	8	9	0.024	0.673	2.803	-0.184	0.893	-1.000	0.000	1.000	-0.052	0.127	-0.112	-1.42E-02
9	10	9	10	0.027	0.736	2.985	-0.172	0.921	-1.000	0.000	1.000	-0.039	0.121	-0.124	-1.50E-02
10	11	10	11	0.030	0.789	3.183	-0.161	0.942	-1.000	0.000	1.000	-0.030	0.115	-0.113	-1.29E-02
11	12	11	12	0.032	0.833	3.396	-0.151	0.957	-1.000	0.000	1.000	-0.023	0.109	-0.082	-8.94E-03
12	13	12	13	0.035	0.869	3.622	-0.141	0.969	-1.000	0.000	1.000	-0.018	0.104	-0.041	-4.26E-03
13	14	13	14	0.038	0.897	3.861	-0.132	0.977	-1.000	0.000	1.000	-0.014	0.099	0.002	1.49E-04
14	15	14	15	0.040	0.920	4.112	-0.123	0.983	-1.000	0.000	1.000	-0.011	0.094	0.038	3.59E-03
15	16	15	16	0.043	0.938	4.372	-0.116	0.988	-1.000	0.000	1.000	-0.009	0.090	0.063	5.66E-03
16	17	16	17	0.046	0.952	4.642	-0.109	0.991	-1.000	0.000	1.000	-0.007	0.086	0.073	6.27E-03
17	18	17	18	0.049	0.963	4.920	-0.103	0.994	-1.000	0.000	1.000	-0.005	0.082	0.069	5.61E-03
18	19	18	19	0.051	0.972	5.204	-0.097	0.995	-1.000	0.000	1.000	-0.004	0.078	0.051	4.02E-03
19	20	19	20	0.054	0.978	5.495	-0.092	0.997	-1.000	0.000	1.000	-0.004	0.075	0.026	1.97E-03
20	21	20	21	0.057	0.983	5.790	-0.087	0.998	-1.000	0.000	1.000	-0.003	0.072	-0.002	-1.08E-04
21	22	21	22	0.059	0.987	6.090	-0.083	0.998	-1.000	0.000	1.000	-0.002	0.069	-0.026	-1.83E-03
22	23	22	23	0.062	0.990	6.393	-0.079	0.999	-1.000	0.000	1.000	-0.002	0.066	-0.044	-2.93E-03
23	24	23	24	0.065	0.993	6.699	-0.075	0.999	-1.000	0.000	1.000	-0.002	0.064	-0.052	-3.32E-03
24	25	24	25	0.067	0.994	7.008	-0.072	0.999	-1.000	0.000	1.000	-0.001	0.061	-0.049	-3.03E-03
25	26	25	26	0.070	0.996	7.318	-0.069	0.999	-1.000	0.000	1.000	-0.001	0.059	-0.037	-2.21E-03
26	27	26	27	0.073	0.997	7.631	-0.066	1.000	-1.000	0.000	1.000	-0.001	0.057	-0.019	-1.09E-03
27	28	27	28	0.076	0.998	7.944	-0.063	1.000	-1.000	0.000	1.000	-0.001	0.055	0.002	8.34E-05
28	29	28	29	0.078	0.998	8.259	-0.061	1.000	-1.000	0.000	1.000	-0.001	0.054	0.020	1.09E-03
29	30	29	30	0.081	0.999	8.574	-0.059	1.000	-1.000	0.000	1.000	0.000	0.052	0.034	1.77E-03
30	31	30	31	0.084	0.999	8.891	-0.056	1.000	-1.000	0.000	1.000	0.000	0.050	0.040	2.03E-03
31	32	31	32	0.086	0.999	9.207	-0.054	1.000	-1.000	0.000	1.000	0.000	0.049	0.038	1.87E-03
32	33	32	33	0.089	0.999	9.524	-0.053	1.000	-1.000	0.000	1.000	0.000	0.047	0.029	1.38E-03
33	34	33	34	0.092	1.000	9.842	-0.051	1.000	-1.000	0.000	1.000	0.000	0.046	0.015	6.83E-04
34	35	34	35	0.094	1.000	10.160	-0.049	1.000	-1.000	0.000	1.000	0.000	0.045	-0.002	-6.73E-05
35	36	35	36	0.097	1.000	10.478	-0.048	1.000	-1.000	0.000	1.000	0.000	0.043	-0.017	-7.25E-04

[illegible]

Tabel Perhitungan Momen pada Tengah Bentang Ribs (jarak roda 9 m)

	Not.		m	n	g_n	g_n^*	C'	K_n	C_1	C_2	C_3	C_4	$M_{u_0}^*/l$	n/l	Q_{nx}/Q_0	$(Q_{nx}/Q_0)*(n/l)$
0	1	0	1	1	0.003	0.017	2.010	-0.266	4.064	-1.000	-1.266	1.000	-6.205	-2.86E-02	0.554	-1.58E-02
1	2	1	2	2	0.005	0.065	2.041	-0.262	2.160	-1.000	-1.262	1.000	-1.526	7.19E-03	0.499	3.58E-03
2	3	2	3	3	0.008	0.138	2.091	-0.255	1.576	-1.000	-1.255	1.000	-0.661	-1.66E-03	0.414	-6.89E-04
3	4	3	4	4	0.011	0.227	2.162	-0.245	1.318	-1.000	-1.245	1.000	-0.358	3.46E-04	0.310	1.07E-04
4	5	4	5	5	0.013	0.325	2.252	-0.234	1.185	-1.000	-1.234	1.000	-0.219	-6.32E-05	0.198	-1.25E-05
5	6	5	6	6	0.016	0.422	2.362	-0.222	1.112	-1.000	-1.222	1.000	-0.144	1.00E-05	0.091	9.07E-07
6	7	6	7	7	0.019	0.515	2.491	-0.210	1.069	-1.000	-1.210	1.000	-0.100	-1.36E-06	-0.002	2.05E-09
7	8	7	8	8	0.022	0.599	2.638	-0.197	1.043	-1.000	-1.197	1.000	-0.071	1.58E-07	-0.070	-1.11E-08
8	9	8	9	9	0.024	0.673	2.803	-0.184	1.027	-1.000	-1.184	1.000	-0.052	-1.56E-08	-0.112	1.74E-09
9	10	9	10	10	0.027	0.736	2.985	-0.172	1.018	-1.000	-1.172	1.000	-0.039	1.33E-09	-0.124	-1.65E-10
10	11	10	11	11	0.030	0.789	3.183	-0.161	1.011	-1.000	-1.161	1.000	-0.030	-9.73E-11	-0.113	1.09E-11
11	12	11	12	12	0.032	0.833	3.396	-0.151	1.008	-1.000	-1.151	1.000	-0.023	6.19E-12	-0.082	-5.07E-13
12	13	12	13	13	0.035	0.869	3.622	-0.141	1.005	-1.000	-1.141	1.000	-0.018	-3.45E-13	-0.041	1.42E-14
13	14	13	14	14	0.038	0.897	3.861	-0.132	1.003	-1.000	-1.132	1.000	-0.014	1.70E-14	0.002	2.56E-17
14	15	14	15	15	0.040	0.920	4.112	-0.123	1.002	-1.000	-1.123	1.000	-0.011	-7.43E-16	0.038	-2.84E-17
15	16	15	16	16	0.043	0.938	4.372	-0.116	1.001	-1.000	-1.116	1.000	-0.009	2.93E-17	0.063	1.85E-18
16	17	16	17	17	0.046	0.952	4.642	-0.109	1.001	-1.000	-1.109	1.000	-0.007	-1.05E-18	0.073	-7.69E-20
17	18	17	18	18	0.049	0.963	4.920	-0.103	1.001	-1.000	-1.103	1.000	-0.005	3.43E-20	0.069	2.35E-21
18	19	18	19	19	0.051	0.972	5.204	-0.097	1.000	-1.000	-1.097	1.000	-0.004	-1.03E-21	0.051	-5.31E-23
19	20	19	20	20	0.054	0.978	5.495	-0.092	1.000	-1.000	-1.092	1.000	-0.004	2.88E-23	0.026	7.57E-25
20	21	20	21	21	0.057	0.983	5.790	-0.087	1.000	-1.000	-1.087	1.000	-0.003	-7.51E-25	-0.002	1.13E-27
21	22	21	22	22	0.059	0.987	6.090	-0.083	1.000	-1.000	-1.083	1.000	-0.002	1.84E-26	-0.026	-4.86E-28
22	23	22	23	23	0.062	0.990	6.393	-0.079	1.000	-1.000	-1.079	1.000	-0.002	-4.23E-28	-0.044	1.87E-29
23	24	23	24	24	0.065	0.993	6.699	-0.075	1.000	-1.000	-1.075	1.000	-0.002	9.24E-30	-0.052	-4.81E-31
24	25	24	25	25	0.067	0.994	7.008	-0.072	1.000	-1.000	-1.072	1.000	-0.001	-1.92E-31	-0.049	9.45E-33
25	26	25	26	26	0.070	0.996	7.318	-0.069	1.000	-1.000	-1.069	1.000	-0.001	3.79E-33	-0.037	-1.42E-34
26	27	26	27	27	0.073	0.997	7.631	-0.066	1.000	-1.000	-1.066	1.000	-0.001	-7.18E-35	-0.019	1.37E-36
27	28	27	28	28	0.076	0.998	7.944	-0.063	1.000	-1.000	-1.063	1.000	-0.001	1.30E-36	0.002	1.96E-39
28	29	28	29	29	0.078	0.998	8.259	-0.061	1.000	-1.000	-1.061	1.000	-0.001	-2.27E-38	0.020	-4.64E-40
29	30	29	30	30	0.081	0.999	8.574	-0.059	1.000	-1.000	-1.059	1.000	0.000	3.82E-40	0.034	1.30E-41
30	31	30	31	31	0.084	0.999	8.891	-0.056	1.000	-1.000	-1.056	1.000	0.000	-6.20E-42	0.040	-2.50E-43
31	32	31	32	32	0.086	0.999	9.207	-0.054	1.000	-1.000	-1.054	1.000	0.000	9.72E-44	0.038	3.73E-45
32	33	32	33	33	0.089	0.999	9.524	-0.053	1.000	-1.000	-1.053	1.000	0.000	-1.47E-45	0.029	-4.31E-47
33	34	33	34	34	0.092	1.000	9.842	-0.051	1.000	-1.000	-1.051	1.000	0.000	2.17E-47	0.015	3.22E-49
34	35	34	35	35	0.094	1.000	10.160	-0.049	1.000	-1.000	-1.049	1.000	0.000	-3.09E-49	-0.002	4.66E-52
35	36	35	36	36	0.097	1.000	10.478	-0.048	1.000	-1.000	-1.048	1.000	0.000	4.28E-51	-0.017	-7.15E-53

36	37	36	37	0.100	1.000	10.796	-0.046	1.000	-1.000	-1.046	1.000	0.000	-5.77E-53	-0.028	1.60E-54
37	38	37	38	0.103	1.000	11.114	-0.045	1.000	-1.000	-1.045	1.000	0.000	7.56E-55	-0.033	2.49E-56
38	39	38	39	0.105	1.000	11.433	-0.044	1.000	-1.000	-1.044	1.000	0.000	-9.64E-57	-0.031	3.03E-58
39	40	39	40	0.108	1.000	11.751	-0.043	1.000	-1.000	-1.043	1.000	0.000	1.20E-58	-0.024	-2.87E-60
40	41	40	41	0.111	1.000	12.070	-0.041	1.000	-1.000	-1.041	1.000	0.000	-1.45E-60	-0.012	1.76E-62
41	42	41	42	0.113	1.000	12.388	-0.040	1.000	-1.000	-1.040	1.000	0.000	1.72E-62	0.002	2.59E-65
42	43	42	43	0.116	1.000	12.707	-0.039	1.000	-1.000	-1.039	1.000	0.000	-1.99E-64	0.014	-2.82E-66
43	44	43	44	0.119	1.000	13.026	-0.038	1.000	-1.000	-1.038	1.000	0.000	2.24E-66	0.024	5.28E-68
44	45	44	45	0.121	1.000	13.344	-0.038	1.000	-1.000	-1.038	1.000	0.000	-2.48E-68	0.028	-6.90E-70
45	46	45	46	0.124	1.000	13.663	-0.037	1.000	-1.000	-1.037	1.000	0.000	2.67E-70	0.027	7.11E-72
46	47	46	47	0.127	1.000	13.982	-0.036	1.000	-1.000	-1.036	1.000	0.000	-2.82E-72	0.020	-5.70E-74
47	48	47	48	0.130	1.000	14.301	-0.035	1.000	-1.000	-1.035	1.000	0.000	2.92E-74	0.010	2.96E-76
48	49	48	49	0.132	1.000	14.619	-0.034	1.000	-1.000	-1.034	1.000	0.000	-2.95E-76	-0.002	4.45E-79
49	50	49	50	0.135	1.000	14.938	-0.034	1.000	-1.000	-1.034	1.000	0.000	2.93E-78	-0.012	-3.63E-80
50	51	50	51	0.138	1.000	15.257	-0.033	1.000	-1.000	-1.033	1.000	0.000	-2.85E-80	-0.020	5.82E-82
														Total	-1.29E-02

Tabel Perhitungan Momen pada Tengah Bentang Ribs (jarak roda 5 m)

	Not.		m	n	g_n	g_n^*	C'	K_n	C_1	C_2	C_3	C_4	M_n^*/I	n/l	Q_{nx}/Q_o	$(Q_{nx}/Q_o)^*(n/l)$
0	1	1	0	1	0.003	0.017	2.010	-0.266	4.064	-1.000	-1.266	1.000	-6.205	-2.21E-02	0.554	-1.22E-02
1	2	1	1	2	0.005	0.065	2.041	-0.262	2.160	-1.000	-1.262	1.000	-1.526	5.58E-03	0.499	2.78E-03
2	3	2	2	3	0.008	0.138	2.091	-0.255	1.576	-1.000	-1.255	1.000	-0.661	-1.30E-03	0.414	-5.40E-04
3	4	3	4	4	0.011	0.227	2.162	-0.245	1.318	-1.000	-1.245	1.000	-0.358	2.75E-04	0.310	8.51E-05
4	5	4	5	5	0.013	0.325	2.252	-0.234	1.185	-1.000	-1.234	1.000	-0.219	-5.10E-05	0.198	-1.01E-05
5	6	5	6	6	0.016	0.422	2.362	-0.222	1.112	-1.000	-1.222	1.000	-0.144	8.21E-06	0.091	7.45E-07
6	7	6	7	7	0.019	0.515	2.491	-0.210	1.069	-1.000	-1.210	1.000	-0.100	-1.14E-06	-0.002	1.72E-09
7	8	7	8	8	0.022	0.599	2.638	-0.197	1.043	-1.000	-1.197	1.000	-0.071	1.35E-07	-0.070	-9.50E-09
8	9	8	9	9	0.024	0.673	2.803	-0.184	1.027	-1.000	-1.184	1.000	-0.052	-1.37E-08	-0.112	1.53E-09
9	10	9	10	10	0.027	0.736	2.985	-0.172	1.018	-1.000	-1.172	1.000	-0.039	1.19E-09	-0.124	-1.48E-10
10	11	10	11	11	0.030	0.789	3.183	-0.161	1.011	-1.000	-1.161	1.000	-0.030	-8.95E-11	-0.113	1.01E-11
11	12	11	12	12	0.032	0.833	3.396	-0.151	1.008	-1.000	-1.151	1.000	-0.023	5.84E-12	-0.082	-4.79E-13
12	13	12	13	13	0.035	0.869	3.622	-0.141	1.005	-1.000	-1.141	1.000	-0.018	-3.33E-13	-0.041	1.37E-14
13	14	13	14	14	0.038	0.897	3.861	-0.132	1.003	-1.000	-1.132	1.000	-0.014	1.68E-14	0.002	2.53E-17
14	15	14	15	15	0.040	0.920	4.112	-0.123	1.002	-1.000	-1.123	1.000	-0.011	-7.54E-16	0.038	-2.88E-17
15	16	15	16	16	0.043	0.938	4.372	-0.116	1.001	-1.000	-1.116	1.000	-0.009	3.05E-17	0.063	1.92E-18
16	17	16	17	17	0.046	0.952	4.642	-0.109	1.001	-1.000	-1.109	1.000	-0.007	-1.11E-18	0.073	-8.17E-20
17	18	17	18	18	0.049	0.963	4.920	-0.103	1.001	-1.000	-1.103	1.000	-0.005	3.73E-20	0.069	2.56E-21
18	19	18	19	19	0.051	0.972	5.204	-0.097	1.000	-1.000	-1.097	1.000	-0.004	-1.15E-21	0.051	-5.90E-23
19	20	19	20	20	0.054	0.978	5.495	-0.092	1.000	-1.000	-1.092	1.000	-0.004	3.27E-23	0.026	8.59E-25
20	21	20	21	21	0.057	0.983	5.790	-0.087	1.000	-1.000	-1.087	1.000	-0.003	-8.70E-25	-0.002	1.31E-27
21	22	21	22	22	0.059	0.987	6.090	-0.083	1.000	-1.000	-1.083	1.000	-0.002	2.17E-26	-0.026	-5.74E-28
22	23	22	23	23	0.062	0.990	6.393	-0.079	1.000	-1.000	-1.079	1.000	-0.002	-5.09E-28	-0.044	2.25E-29
23	24	23	24	24	0.065	0.993	6.699	-0.075	1.000	-1.000	-1.075	1.000	-0.002	1.13E-29	-0.052	-5.89E-31
24	25	24	25	25	0.067	0.994	7.008	-0.072	1.000	-1.000	-1.072	1.000	-0.001	-2.39E-31	-0.049	1.18E-32
25	26	25	26	26	0.070	0.996	7.318	-0.069	1.000	-1.000	-1.069	1.000	-0.001	4.80E-33	-0.037	-1.79E-34
26	27	26	27	27	0.073	0.997	7.631	-0.066	1.000	-1.000	-1.066	1.000	-0.001	-9.23E-35	-0.019	1.76E-36
27	28	27	28	28	0.076	0.998	7.944	-0.063	1.000	-1.000	-1.063	1.000	-0.001	1.70E-36	0.002	2.56E-39
28	29	28	29	29	0.078	0.998	8.259	-0.061	1.000	-1.000	-1.061	1.000	-0.001	-3.01E-38	0.020	-6.14E-40
29	30	29	30	30	0.081	0.999	8.574	-0.059	1.000	-1.000	-1.059	1.000	0.000	5.12E-40	0.034	1.75E-41
30	31	30	31	31	0.084	0.999	8.891	-0.056	1.000	-1.000	-1.056	1.000	0.000	-8.42E-42	0.040	-3.40E-43
31	32	31	32	32	0.086	0.999	9.207	-0.054	1.000	-1.000	-1.054	1.000	0.000	1.34E-43	0.038	5.13E-45
32	33	32	33	33	0.089	0.999	9.524	-0.053	1.000	-1.000	-1.053	1.000	0.000	-2.05E-45	0.029	-5.98E-47
33	34	33	34	34	0.092	1.000	9.842	-0.051	1.000	-1.000	-1.051	1.000	0.000	3.04E-47	0.015	4.53E-49
34	35	34	35	35	0.094	1.000	10.160	-0.049	1.000	-1.000	-1.049	1.000	0.000	-4.39E-49	-0.002	6.61E-52
35	36	35	36	36	0.097	1.000	10.478	-0.048	1.000	-1.000	-1.048	1.000	0.000	6.14E-51	-0.017	-1.02E-52

36	37	36	37	0.100	1.000	10.796	-0.046	1.000	-1.000	-1.046	1.000	0.000	-8.34E-53	-0.028	2.32E-54
37	38	37	38	0.103	1.000	11.114	-0.045	1.000	-1.000	-1.045	1.000	0.000	1.10E-54	-0.033	-3.63E-56
38	39	38	39	0.105	1.000	11.433	-0.044	1.000	-1.000	-1.044	1.000	0.000	-1.42E-56	-0.031	4.46E-58
39	40	39	40	0.108	1.000	11.751	-0.043	1.000	-1.000	-1.043	1.000	0.000	1.78E-58	-0.024	-4.25E-60
40	41	40	41	0.111	1.000	12.070	-0.041	1.000	-1.000	-1.041	1.000	0.000	-2.17E-60	-0.012	2.63E-62
41	42	41	42	0.113	1.000	12.388	-0.040	1.000	-1.000	-1.040	1.000	0.000	2.58E-62	0.002	3.90E-65
42	43	42	43	0.116	1.000	12.707	-0.039	1.000	-1.000	-1.039	1.000	0.000	-3.01E-64	0.014	-4.26E-66
43	44	43	44	0.119	1.000	13.026	-0.038	1.000	-1.000	-1.038	1.000	0.000	3.41E-66	0.024	8.03E-68
44	45	44	45	0.121	1.000	13.344	-0.038	1.000	-1.000	-1.038	1.000	0.000	-3.79E-68	0.028	-1.06E-69
45	46	45	46	0.124	1.000	13.663	-0.037	1.000	-1.000	-1.037	1.000	0.000	4.11E-70	0.027	1.09E-71
46	47	46	47	0.127	1.000	13.982	-0.036	1.000	-1.000	-1.036	1.000	0.000	-4.36E-72	0.020	-8.82E-74
47	48	47	48	0.130	1.000	14.301	-0.035	1.000	-1.000	-1.035	1.000	0.000	4.53E-74	0.010	4.59E-76
48	49	48	49	0.132	1.000	14.619	-0.034	1.000	-1.000	-1.034	1.000	0.000	-4.61E-76	-0.002	6.95E-79
49	50	49	50	0.135	1.000	14.938	-0.034	1.000	-1.000	-1.034	1.000	0.000	4.60E-78	-0.012	-5.69E-80
50	51	50	51	0.138	1.000	15.257	-0.033	1.000	-1.000	-1.033	1.000	0.000	-4.49E-80	-0.020	9.17E-82
														Total	-9.90E-03

Nilai tegangan maksimum pada box girder

NO GELAGAR	KOMBINASI								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1340	1120	1340	-7990	1350	1110	814	822	2740
2	1630	1840	-7220	-9420	1640	1050	1060	1620	1740
3	3840	3400	-8820	-7640	3840	1960	1630	1120	889
4	942	-1590	-5900	-4250	972	-1610	-533	-547	4020
5	-22300	-13200	-13400	-3540	-22300	-13200	-8060	-8090	7360
6	-12900	-13200	-9840	-13500	-12900	-9680	-9540	-7260	17100
7	-2150	-1810	-2850	-3690	-2150	-1840	-1530	-714	4380
8	-871	-1030	-2840	-2840	-917	-1120	1100	1900	-6340
9	151	169	-914	-1130	235	277	1440	-8040	-15200
10	1180	945	781	-1930	1290	1010	955	-16100	-21900
11	2100	3060	2990	2220	2220	1820	1820	-23000	-24300
12	1090	1090	-1940	621	1210	953	953	-21800	-23000
13	1140	1380	-1100	-1100	1180	1440	1480	-15100	-15300
14	981	1930	-2640	-2790	1010	1860	1070	-6290	-5710
15	-3600	-2270	-3350	-3420	-3600	-2280	-1540	-1550	5350
16	-13300	-9600	-13200	-9430	-13400	-9640	-9530	-9560	17200
17	-16700	-13400	-9750	-22200	-16700	-8050	-8080	-5900	4400
18	-1130	-5520	-1360	-5940	-1150	-5520	-545	621	2840
19	-5850	-8350	-6280	-8810	-5850	-8350	1640	1950	1200
20	-8930	-7870	-9400	-8290	-8930	-7870	1040	1040	1690
21	-7700	-5680	-7930	-5800	-7700	-5680	848	853	2570

Nilai tegangan maksimum pada box girder

KOMBINASI							MIN	
10	11	12	13	14	15	D	KG/M2	KG/CM2
2490	-9820	2850	733	551	-1480	-9820	-9820	-0.982
-8840	-10500	1890	823	1210	-8840	-10500	-10500	-1.05
-9770	-7670	523	1420	1090	-9770	-7670	-9770	-0.977
-4100	-1700	3680	1220	-549	-5900	-4500	-5900	-0.59
4410	6490	-3370	-1130	-5740	-5260	-22300	-22300	-2.23
17100	18900	15300	-7270	-5680	-13500	-12000	-13500	-1.35
5280	5760	3900	-1530	-631	-9360	-8690	-9360	-0.936
-5760	-6340	2610	-6760	1270	-2840	-6760	-6760	-0.676
-15400	-16700	-13900	-16400	1530	-8400	-16700	-16700	-1.67
-23100	-24800	-20300	-24000	788	-17700	-24800	-24800	-2.48
-26000	-26000	-25100	-25200	800	-26000	-26000	-26000	-2.6
-24700	-21900	-23700	-20900	1250	-24700	-21900	-24700	-2.47
-16600	-13800	-15400	-12700	1320	-16600	-13800	-16600	-1.66
-6340	-2670	-5230	1310	644	-6340	-3270	-6340	-0.634
5760	4030	6590	744	-1540	-4980	-9320	-9320	-0.932
19000	15500	17500	-2230	-7280	-10600	-13400	-13400	-1.34
5520	1530	1550	-5730	-4250	-22200	-16700	-22200	-2.22
3920	-4230	5090	-3870	246	-4020	-5940	-5940	-0.594
-4760	-9940	-4390	-9550	1420	-6280	-9940	-9940	-0.994
-10700	-9830	-10300	-9480	816	-10700	-9830	-10700	-1.07
-9790	-6890	-9600	-6790	548	-9790	-6890	-9790	-0.979

Nilai tegangan maksimum pada serat bawah box girder

NO GELAGAR	KOMBINASI								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2050	2700	1940	4930	2050	1570	1570	2740	4260
2	-379	53	3390	4460	-365	31.7	46.7	2880	2970
3	-2350	-2020	3270	2700	-2340	-920	-762	1120	614
4	942	-621	1320	510	910	-651	-3.25	-32.3	-1990
5	11700	5310	5880	2440	11600	5240	3600	3520	-3410
6	6200	5680	4050	7400	6140	4160	4080	2990	-7190
7	2030	288	-550	2770	2030	333	326	-259	-1020
8	493	-617	-899	1060	547	-641	-596	483	5220
9	287	260	277	744	395	277	-262	6570	9990
10	1680	1800	2010	1670	1790	1920	992	11500	13200
11	3400	3570	3570	3280	3520	3420	2010	14700	16500
12	1720	2010	1750	1450	1840	1270	1110	13200	14400
13	635	274	254	377	711	-302	-199	9960	10300
14	981	-905	-628	73.1	1010	-1020	-636	5260	4920
15	2740	-1300	272	732	2710	-1030	339	316	-1690
16	7420	3400	5660	3240	7320	3300	4170	4070	-7500
17	9150	5910	4150	11700	9070	3620	3520	2470	-1710
18	-550	1520	-1100	1160	-590	1510	-26.1	-572	-1180
19	2180	3410	1840	3100	2170	3410	-749	-493	1200
20	4570	4050	4290	3750	4580	4060	64.6	2250	2820
21	5110	4120	4730	3690	5120	4130	1610	4200	4870

Nilai tegangan maksimum pada serat bawah box girder

KOMBINASI							MAX	
10	11	12	13	14	15	D	KG/M2	KG/CM2
4900	7890	3080	4580	3820	7890	733	7890	0.789
5900	6410	2620	1870	5900	6410	-4280	6410	0.641
4900	4060	346	-445	4900	4060	-4570	4900	0.49
1040	-345	-2290	-730	1320	942	-3790	1320	0.132
-1880	-1840	3110	372	2630	11700	-5290	11700	1.17
-7490	-7820	-5140	3230	7480	6200	-9540	7480	0.748
-1710	-3100	379	474	2780	2030	-3100	2780	0.278
4880	4010	6090	4840	1760	6090	-2030	6090	0.609
10300	9840	10500	10300	7340	10500	-499	10500	1.05
14500	14200	13500	14400	12300	14500	276	14500	1.45
16500	16200	16500	16400	16500	16500	853	16500	1.65
14200	13400	14300	13400	14400	13600	50.3	14400	1.44
9820	10400	9900	8400	10400	9320	-799	10400	1.04
4080	6110	4890	2580	6110	4890	-2280	6110	0.611
-3060	360	-1160	-635	732	2740	-4940	2740	0.274
-8420	-5190	-6160	770	3280	7420	-10600	7420	0.742
-2750	3390	1550	2630	11800	9150	-4230	11800	1.18
-1920	951	-2970	1240	1150	1520	-3440	1520	0.152
2130	4800	2400	5060	2400	5060	-5350	5060	0.506
6310	5720	6550	5980	6550	5980	-3000	6550	0.655
7620	6300	7940	6660	7940	6660	1070	7940	0.794

Nilai gaya aksial terbesar pada gelagar

NO GELAGAR	KOMBINASI								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	43944.07	40502.07	40502.07	43944.83	43944.83	30766.79	23596.58	40331.87	54372.68
2	32198.71	18483.93	18483.93	32200.3	32200.3	10792.73	10794.25	19034.42	24775.72
3	22572.22	1119.45	1119.45	22572.63	22572.63	705.19	705.19	1496.54	1101.38
4	16574.25	-9089.36	-9089.36	16573.76	16573.76	-5225.49	-5221.49	-5221.49	-9860.65
5	15044.9	-11528.3	-11528.3	15045.69	15045.69	-6637.46	-6637.46	-6638.18	-14316.65
6	18169.61	-13587.88	-13587.88	18170.72	18170.72	-9547.84	-9547.84	11337.58	10691.43
7	19493.65	-11188.08	-11188.08	19493.48	19493.48	-8142.51	-8138.2	10035.49	9343.13
8	25127.06	-1036.65	-1036.65	25127.79	25127.79	-2197.64	-2197.46	14979.56	14183.94
9	34691.86	16343.5	16343.5	34693.78	34693.78	7925.86	7927.69	25997.65	31407.44
10	46781.52	38458.07	38458.07	46782.61	46782.61	26715.31	20773.21	41340.43	55054.24
11	59568.04	61881.67	61881.67	59568.72	59568.72	50704.28	34354.89	60765.17	83283.08
12	46787.33	38455.61	38455.61	46788.39	46788.39	27056.16	20770.9	40847.68	54560.51
13	34701.69	16338.89	16338.89	34703.57	34703.57	7921.7	7923.48	25512.73	30920.69
14	25138.88	-1043.19	-1043.19	25139.55	25139.55	-2203.31	-2203.18	14800.97	17985.25
15	19504.88	-11196.15	-11196.15	19504.64	19504.64	-8149.11	-8144.87	10127.35	12755.42
16	18179.31	-13596.51	-13596.51	18180.36	18180.36	-9554.64	-9554.64	11344.91	13697.32
17	20189.52	-10176.51	-10176.51	20191.73	20191.73	-6107.13	-6106.37	-6106.37	-14698.53
18	21716.21	-7737.88	-7737.88	21717.14	21717.14	-4695.13	-4689.63	-4689.63	-10705.22
19	27710.75	2471.41	2471.41	27712.61	27712.61	1236.05	1237.46	1237.46	-17.98
20	37338.3	19838.16	19838.16	37341.38	37341.38	11324.8	11327.88	16105.99	22223.86
21	49091.28	41860.65	41860.65	49093.54	49093.54	26703.19	24132.24	38028.42	52447.37

Nilai gaya aksial terbesar pada gelagar

KOMBINASI							MAX
10	11	12	13	14	15	D	
54310.74	57324.21	57262.27	46189.17	57324.21	57262.27	15737.63	57324.21
24470.34	36902.46	36597.08	15935.13	36902.46	36597.08	-2928.19	36902.46
322.61	19758.48	19363.32	1138.69	22572.63	22572.63	-20754.22	22572.63
-14448.17	8779.32	8349.83	-2656.11	16574.25	16574.25	-32670.79	16574.25
-19817.86	4331.52	3799.31	-3566.14	15045.69	15045.69	-37939.25	15045.69
4876.37	34475.9	33829.76	-5848.35	34475.9	33829.76	-41311.44	34475.9
4437.95	33102.6	32410.24	-5395.2	33102.6	32410.24	-38823.59	33102.6
13078.66	37792.36	36996.74	2544.44	37792.36	36996.74	-28368.06	37792.36
30479.33	48340.43	47412.32	20256.45	48340.43	47412.32	-10428.7	48340.43
54114.41	63055.44	62115.61	44315.66	63055.44	62115.61	12448.49	63055.44
84116.6	81815.36	82648.87	74790.92	83283.08	84116.6	21752.15	84116.6
58346.29	62569.43	66355.21	48832.02	62569.43	66355.21	12437.93	66355.21
34623.19	47867.15	51569.65	24908.85	47867.15	51569.65	-10447.25	51569.65
16877.4	37628.32	40812.6	7015.88	37628.32	40812.6	-28392.03	40812.6
7847.08	33209.29	35837.35	-2098.24	33209.29	35837.35	-38849.42	35837.35
7878.9	34496.96	36849.37	-2096.3	34496.96	36849.37	-41336.52	36849.37
-19824.29	5428.34	7269.21	-3246.19	20191.73	20191.73	-41798.19	20191.73
-14917.36	9802.31	11354.79	-2336.09	21717.14	21717.14	-36990.25	21717.14
-421.09	20669.96	22090.22	1459.05	27712.61	27712.61	-24011.87	27712.61
23453.57	37820.18	39049.89	10350.03	37820.18	39049.89	-6183.45	39049.89
52984.22	58871.61	59408.46	40329.17	58871.61	59408.46	16059.82	59408.46

Nilai momen maksimum pada gelagar















NO GELAGAR	KOMBINASI							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-26243.99	-34550.09	-27360.22	-110029.8	-26245.46	-20128.64	-20128.95	-8152.17
2	17095.48	15283.21	-90345.28	-118143.6	17130.08	8677	8679.36	-12749.45
3	52754.58	47197.59	-102936.9	-87989.39	52789.07	24516.07	20428.67	2715.24
4	-9877.88	-1390.86	-61549.14	-40569.48	-9865.69	-1418.15	-4515.04	-4554.09
5	-289654.2	-157812.3	-164979.8	-51219.25	-289662.5	-157837.1	-99475.53	-99425.23
6	-152372.6	-161547.8	-118773.8	-178326.7	-152389.8	-116591.2	-116541.1	-87765.75
7	-35615.33	-17539.47	4526.01	-55144.31	-35605.89	-15824.96	-15863.73	-331.3
8	9313.62	14809.86	24640.83	-4255.06	9309.9	14724.18	14734.16	24618.3
9	-337.5	-783.55	9991.96	1808.69	-318.03	-772.5	14888.94	-109072.1
10	-20085.98	-23339.14	-17701.26	-29288.2	-20070.25	-23372.3	-7494.72	-220967.5
11	-43796.2	-41149.31	-49948.22	-50040.03	-43835.97	-41189.25	-19094.54	-317241.1
12	-20983.03	-15291.55	-29371.01	-18177.16	-21016.33	-7507.17	-7505.25	-293893.7
13	12447.48	9950.25	1339.65	11578.13	12457.7	14820.39	14823.72	-200719.2
14	-3372.8	24581.1	16251.91	22199.08	-3377.91	24506.98	14583.09	-79756.74
15	-54017.37	19112.39	-17580.96	-1259.02	-54007.29	19083.3	-15982.69	-16023.76
16	-176875.4	-110831.3	-161554.6	-101377.4	-176887.2	-110850.9	-116760.7	-116713.2
17	-220052.3	-165139	-118996.6	-289688	-220064.4	-99495.43	-99454.03	-71857.23
18	-4376.07	-60007.77	-2380.08	-60648.54	-4393.62	-59975.94	-4675.11	9715.49
19	-68469.56	-100241.2	-69299.12	-101416	-68434.43	-100195.9	20225.3	24218.32
20	-115115.6	-101686.2	-116624.7	-102536.5	-115070.1	-101639.2	8288.18	-12751.37
21	-109215.2	-83527.93	-107863.4	-80769.03	-109157.9	-83477.34	-20584.24	-32152.87

Nilai momen maksimum pada gelagar

KOMBINASI								MIN
9	10	11	12	13	14	15	D	
-30027.94	-34446.9	-126951.3	3083.99	-33238.19	-5183.56	-37486.91	-126951.3	-126951.3
-10916.04	-102575.7	-131790.5	-8527	-5198.43	12081.98	-102575.7	-131790.5	-131790.5
15104.75	-112269.9	-85612.15	14264.77	17576.27	13398.37	-112269.9	-87991.41	-112269.9
61669.26	-33222.5	-1249.91	61600.75	16635.5	-5822.04	-61549.14	-40569.48	-61549.14
112773.15	70725.69	91823.19	-38108.67	-12797.3	-71354.29	-51226.47	-289662.5	-289662.5
215570.39	218413.04	251303.25	182735.59	-89546.1	-69383.23	-178326.7	-145065.2	-178326.7
59469.32	72969.65	88975.97	43401.38	-17054.99	-5687.09	-55156.7	-35615.33	-55156.7
-80474.66	-72662.65	-70124.17	-83010.33	-80816.33	16743.27	-4255.06	-83010.33	-83010.33
-201091.5	-205333.1	-212153.8	-194275.4	-214309.4	15982.34	-111483.9	-214309.4	-214309.4
-294490.7	-315670.4	-327323.1	-282813.9	-322440.4	4367.94	-238572	-327323.1	-327323.1
-344642.4	-356891.5	-357155.3	-350711	-350974.8	-3027.12	-356891.5	-357155.3	-357155.3
-315077	-326792	-291260.1	-319879.7	-283805.6	6575.26	-326792	-291260.1	-326792
-204979.7	-212156.6	-193547.1	-202908.2	-167570.4	14620.71	-212156.6	-176713.2	-212156.6
-71972.78	-70049.78	-81677.02	-61598.06	-15392.18	8856.4	-81677.02	-45648.59	-81677.02
73303.44	88459.65	44615.53	76139.58	11758.76	-17198.49	-1259.02	-54017.37	-54017.37
219609.77	243327.98	185039.77	210103.22	-25572.06	-89707.27	-69285.06	-176887.2	-176887.2
70557.11	85687.2	-38187.67	-2160.82	-71324.83	-52566.76	-289688	-220064.4	-289688
45238.99	60845.91	-33164.61	86423.54	-32525.09	4126.61	-10695.73	-60648.54	-60648.54
841.78	-45878.47	-112463.8	-45022.89	-111422.7	17406.71	-69299.12	-112463.8	-112463.8
-14836.33	-131947.2	-120603.4	-130632	-119838.6	6964.11	-131947.2	-120603.4	-131947.2
-36863.45	-126742.5	-88636.82	-127812.7	-90890.06	-13699.75	-127812.7	-90890.06	-127812.7

C RANGE ANCHOR

Anchor units

	3C15*
	4C15*
	7C15
	9C15
	12C15*
	13C15
	19C15
	22C15*
	25C15
	25CC15*
	27C15*
	31C15
	37C15
	55C15

* Configuration of strands in anchor without central strand

Composition

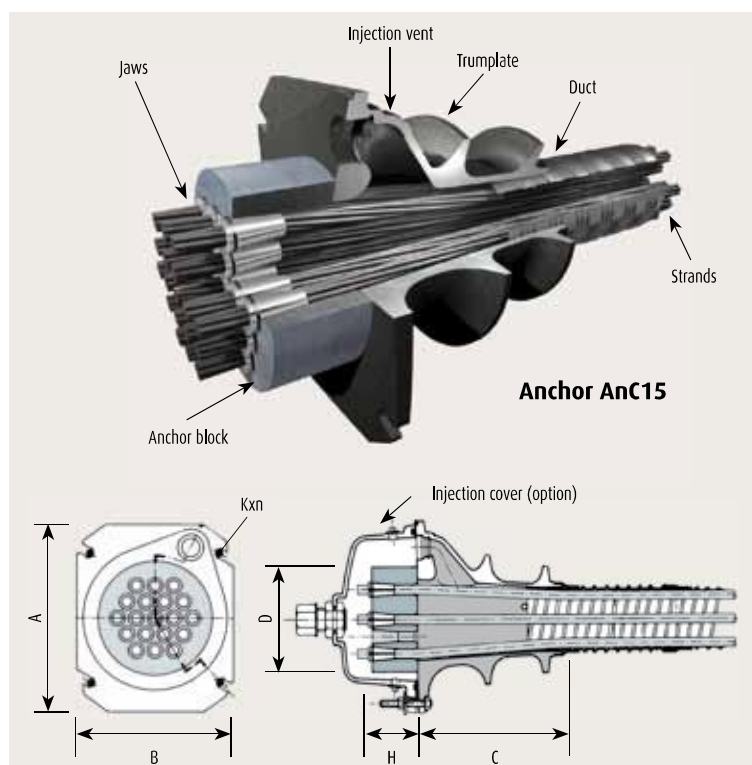
The anchors comprise:

- jaws guaranteeing high performance anchoring under static or dynamic stresses;
- circular steel anchor blocks drilled with tapered holes;
- multi-ribbed cast iron trumplates for improved distribution of the prestressing force in the concrete;
- optional permanent cover.

Compact anchors

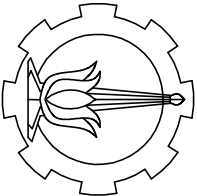
The small size of range C anchors allows for:

- reduced thickness of beams and webs of box girders;
- improved concentration of anchors at ends;
- minimal strand deviation.



Units	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	H (mm)	Kxn (mm)
3C15	150	110	120	85	50	M10x2
4C15	150	120	125	95	50	M10x2
7C15	180	150	186	110	55	M12x2
9C15	225	185	260	150	55	M12x4
12C15	240	200	165	150	65	M12x4
13C15	250	210	246	160	70	M12x4
19C15	300	250	256	185	80	M12x4
22C15	330	275	430	220	90	M12x4
25C15	360	300	400	230	95	M16x4
25CC15	350	290	360	220	95	M16x4
27C15	350	290	360	220	100	M16x4
31C15	385	320	346	230	105	M16x4
37C15	420	350	466	255	110	M16x4
55C15	510	420	516	300	145	M20x4

All units are CE marked



PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan Sungai Brantas Pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono Menggunakan Sistem *Cable-stayed* dengan *Single Verrica Plane Semi-harp*

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

MAHASISWA

Satya Anggraeny
3112100051

JUDUL GAMBAR

DENAH JEMBATAN

SKALA

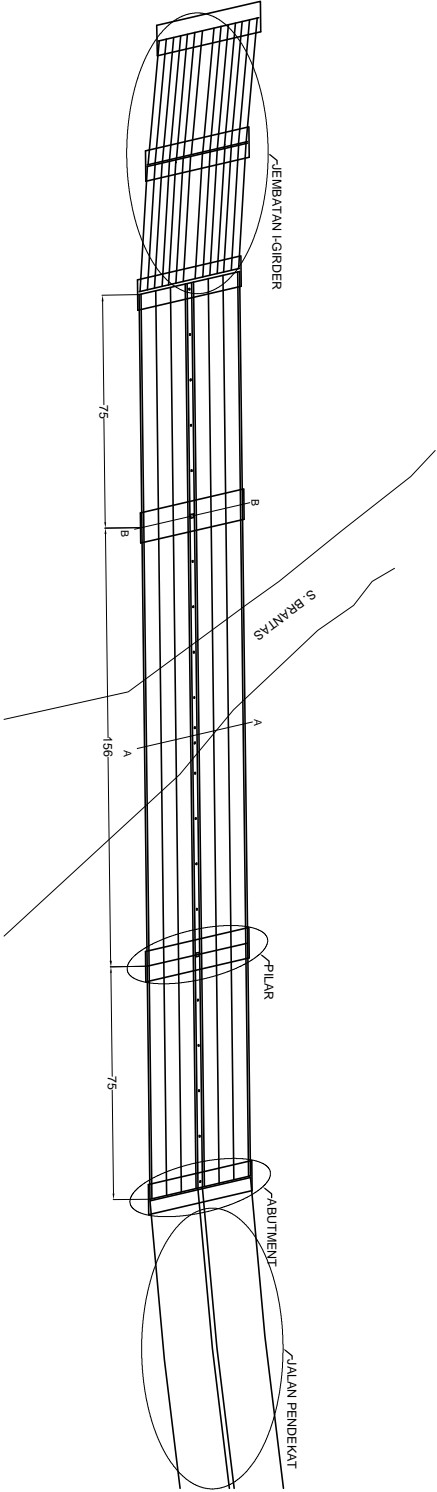
1 : 2500

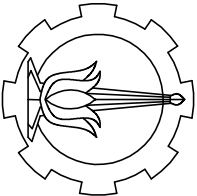
NOMOR GAMBAR

NOMOR	JUMLAH
1	11

CATATAN

DENAH JEMBATAN





PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan Sungai Brantas Pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono Menggunakan Sistem *Cable-stayed* dengan *Single Verrica Plane Semi-harp*

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

MAHASISWA

Satya Anggraeny
3112100051

JUDUL GAMBAR

TAMPAK SAMPIING
JEMBATAN

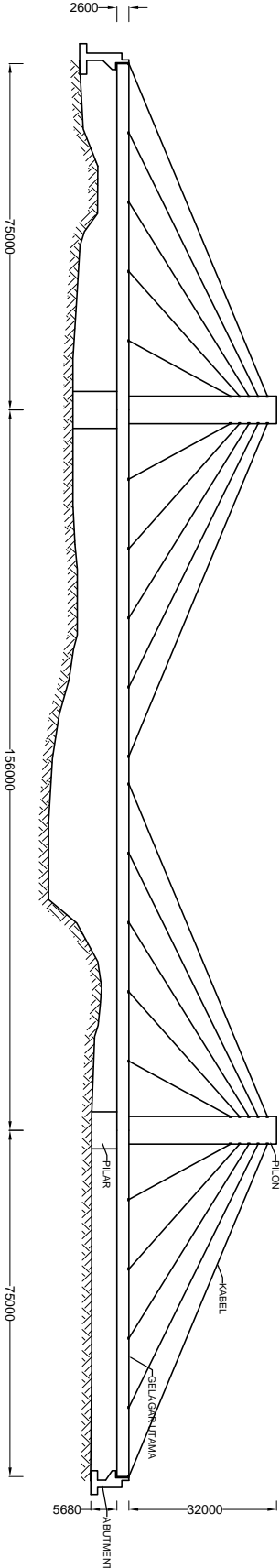
SKALA

1 : 1500

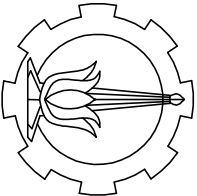
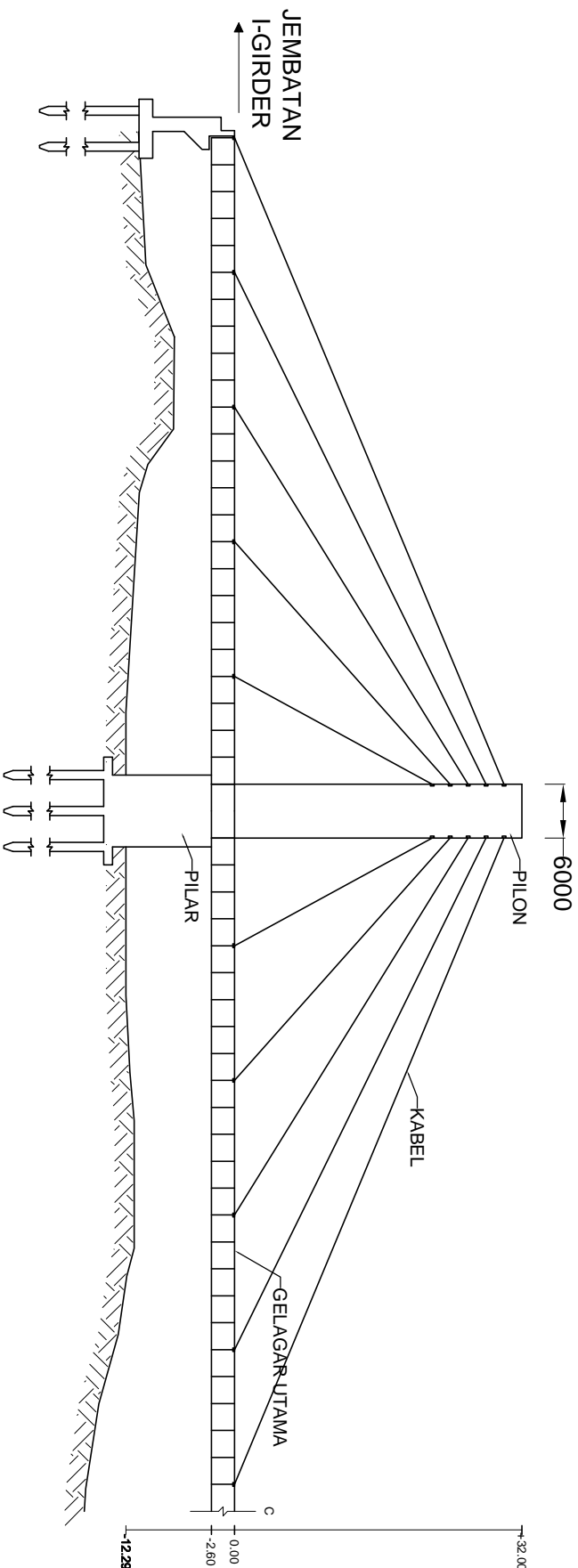
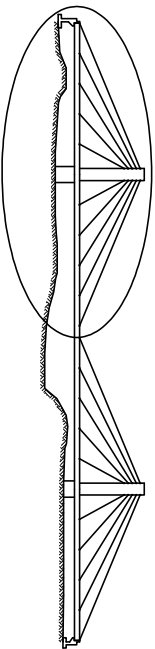
NOMOR GAMBAR

NOMOR	JUMLAH
2	11

CATATAN



TAMPAK SAMPIING JEMBATAN



PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan Sungai Brantas Pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono Menggunakan Sistem Cable-stayed dengan Single Verrica, Plane Semi-harp

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

MAHASISWA

Satya Anggraeny
3112100051

JUDUL GAMBAR

POTONGAN MEMANJANG

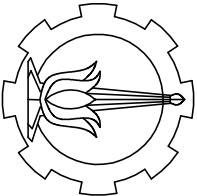
SKALA

1 : 750

NOMOR GAMBAR

NOMOR	JUMLAH
3	11

CATATAN



PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Sungai Brantas Pada Ruas Jalan Tol
Solo-Kertosono Menggunakan Sistem
Cable-stayed dengan *Single Verrica*
Plane Semi-tharp

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

MAHASISWA

Satya Anggraeny
3112100051

JUDUL GAMBAR

POTONGAN MELINTANG

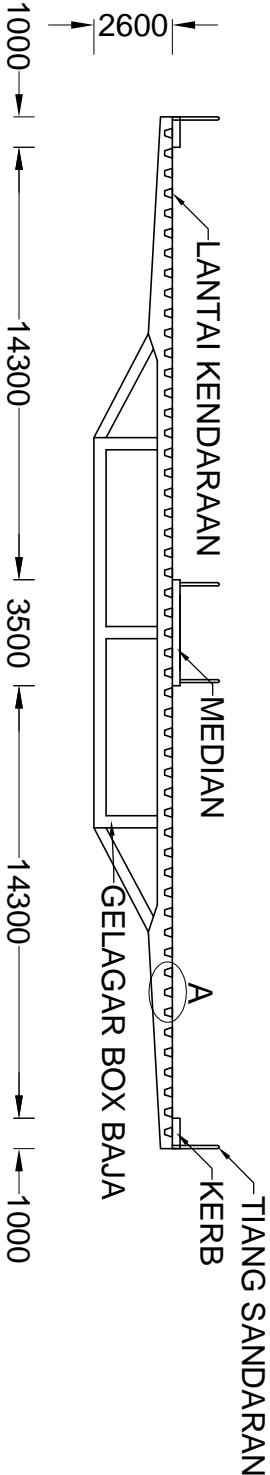
SKALA

1 : 250

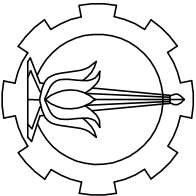
NOMOR GAMBAR

NOMOR	JUMLAH
4	11

CATATAN



POTONGAN MELINTANG TENGAH BENTANG JEMBATAN



PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan Sungai Brantas Pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono Menggunakan Sistem *Cable-stayed* dengan *Single Verricca Plane Semi-harp*

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

MAHASISWA

Satya Anggraeny
3112100051

JUDUL GAMBAR

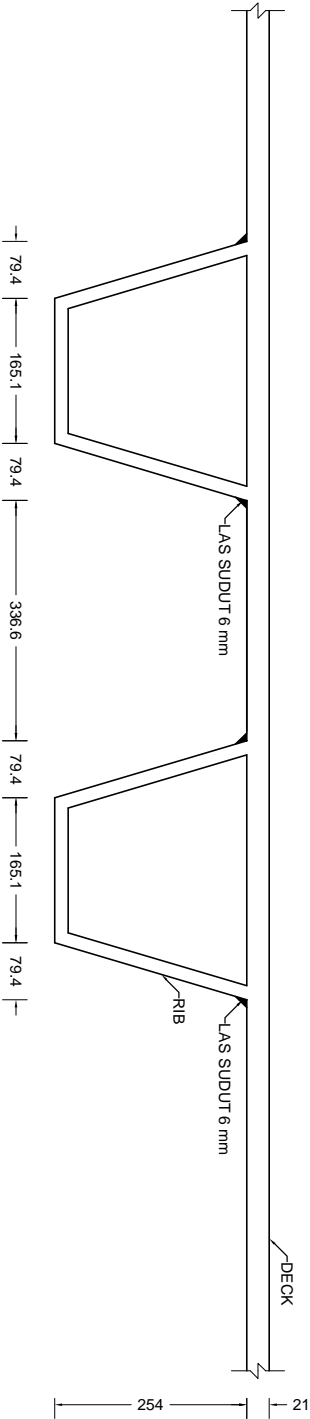
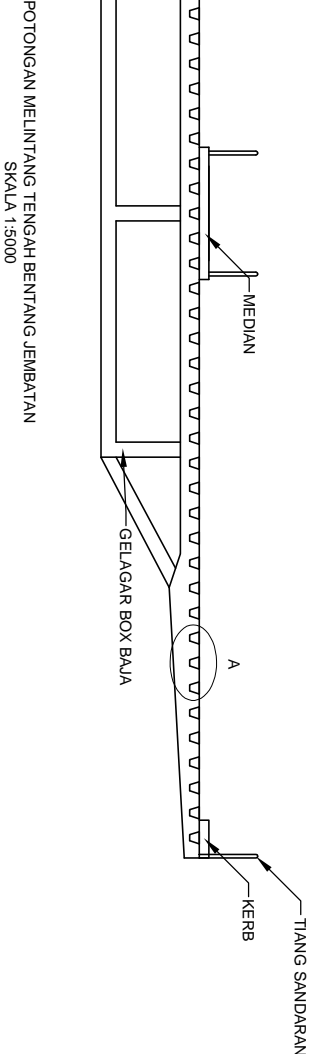
DETAIL RIBS

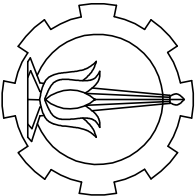
SKALA

NOMOR GAMBAR

NOMOR	JUMLAH
5	11

CATATAN





PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan Sungai Brantas Pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono Menggunakan Sistem *Cable-stayed* dengan *Single Verrica*, *Plane Semi-harp*

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

MAHASISWA

Satya Anggraeny
3112100051

JUDUL GAMBAR

DETAIL SAMBUNGAN

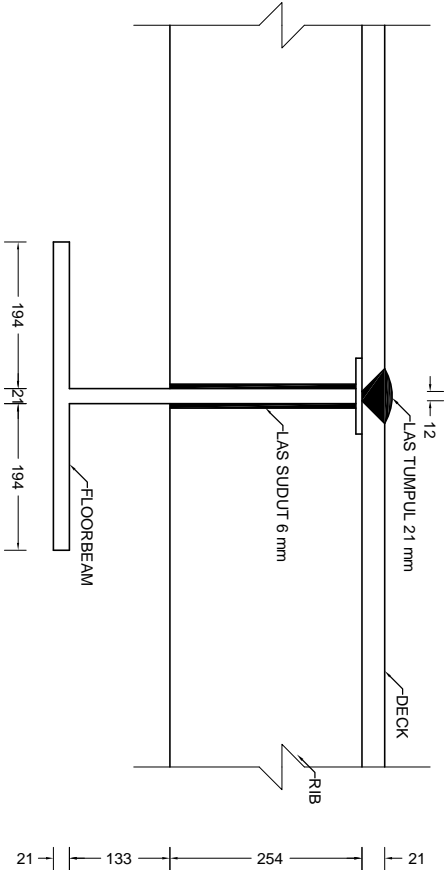
SKALA

1 : 10

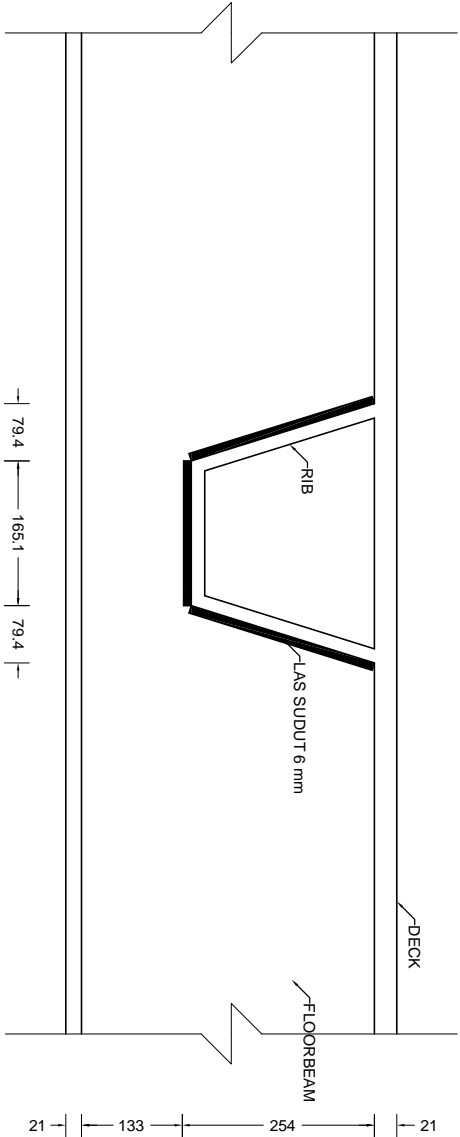
NOMOR GAMBAR

NOMOR	JUMLAH
6	11

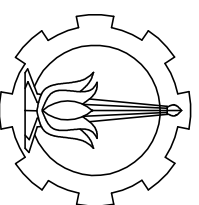
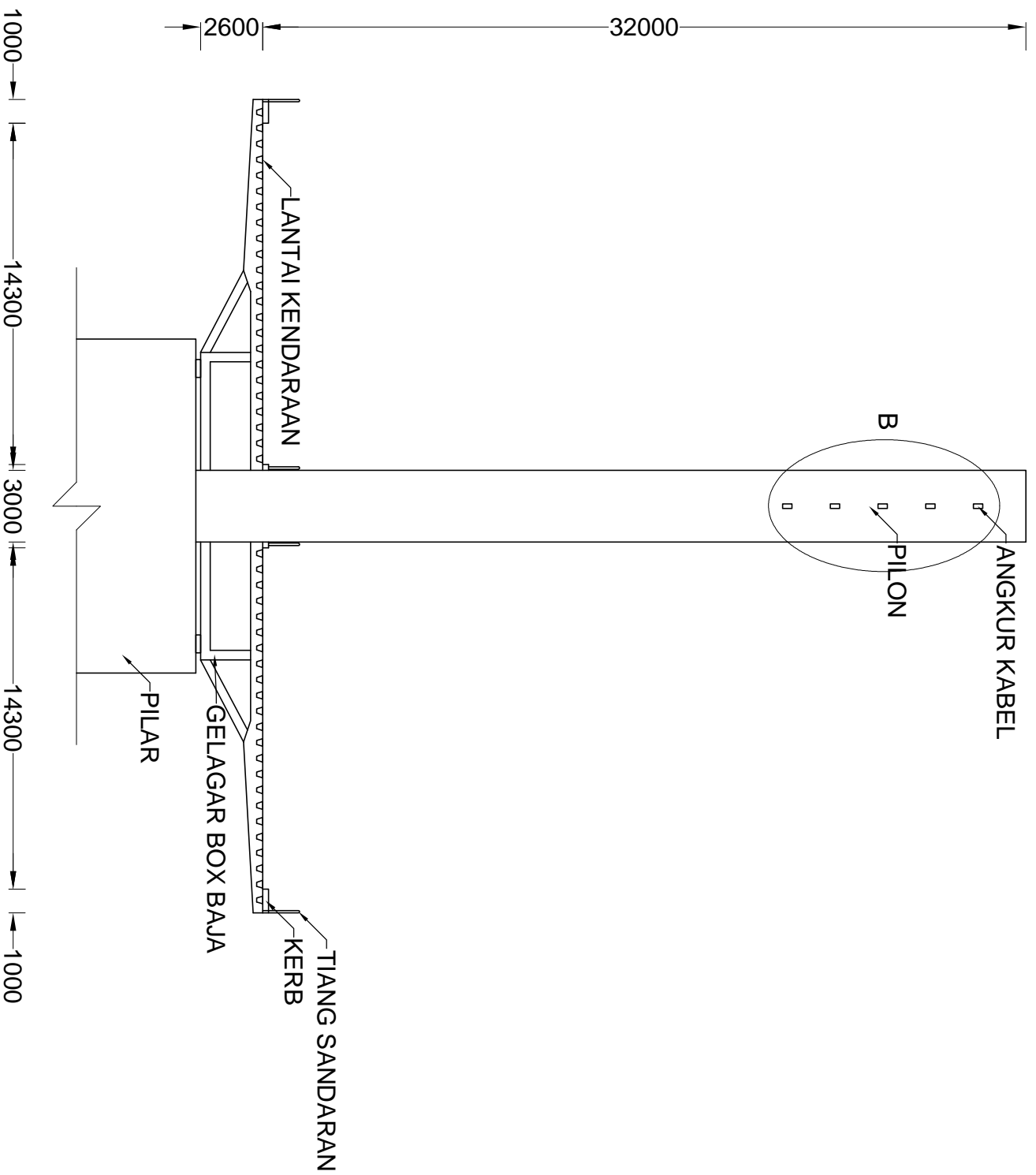
CATATAN



DETAIL SAMBUNGAN ANTAR SEGMENT



DETAIL SAMBUNGAN RIB DAN FLOORBEAM



JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan Sungai Brantas Pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono Menggunakan Sistem Cable-stayed dengan Single Vertica Plane Semi-harp

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

MAHASISWA

Satya Anggrany
3112100051

JUDUL GAMBAR

POTONGAN MELINTANG

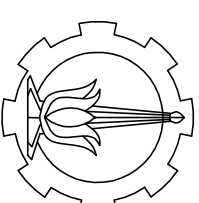
SKALA

1 : 250

NOMOR GAMBAR

NOMOR	JUMLAH
7	11

CATATAN



PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan Sungai Brantas Pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono Menggunakan Sistem Cable-stayed dengan Single Vertica Plane Semi-harp

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S. T., M.Sc., Ph.D.

MAHASISWA

Satya Anggraeny
3112100051

JUDUL GAMBAR

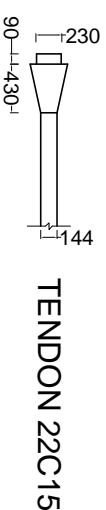
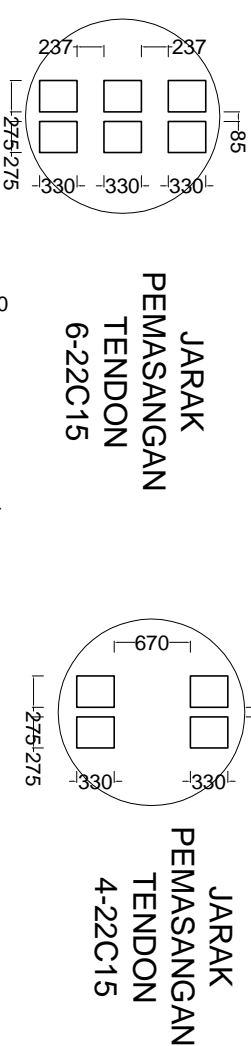
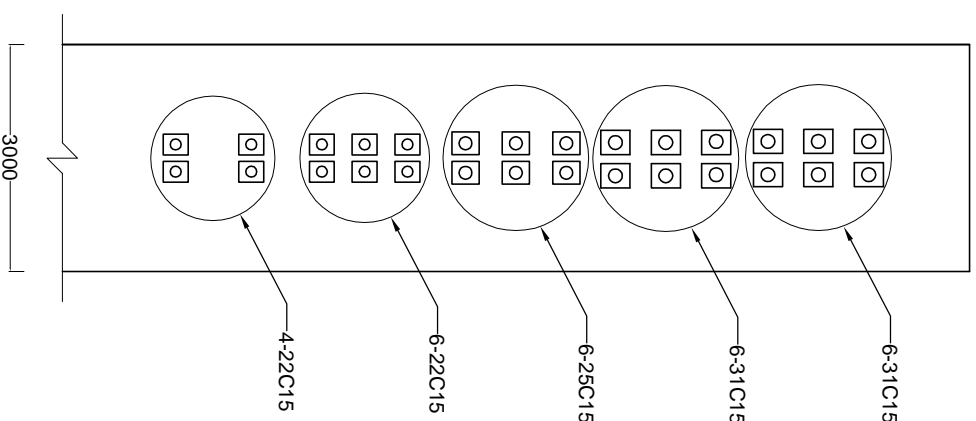
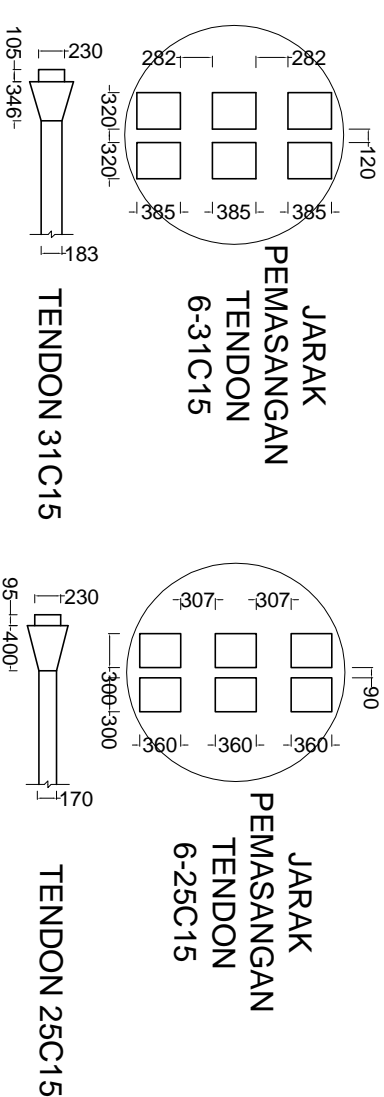
DETAIL PEMASANGAN
TENDON

SKALA

NOMOR GAMBAR

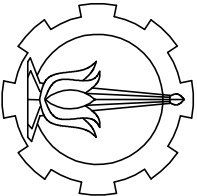
NOMOR	JUMLAH
8	11

CATATAN



SKALA 1:150

DETAIL B
SKALA 1:100



PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan
Sungai Brantas Pada Ruas Jalan Tol
Solo-Kertosono Menggunakan Sistem
Cable-stayed dengan *Single Verrica*
Plane Semi-tharp

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

MAHASISWA

Satya Anggraeny
3112100051

JUDUL GAMBAR

DETAIL PILON

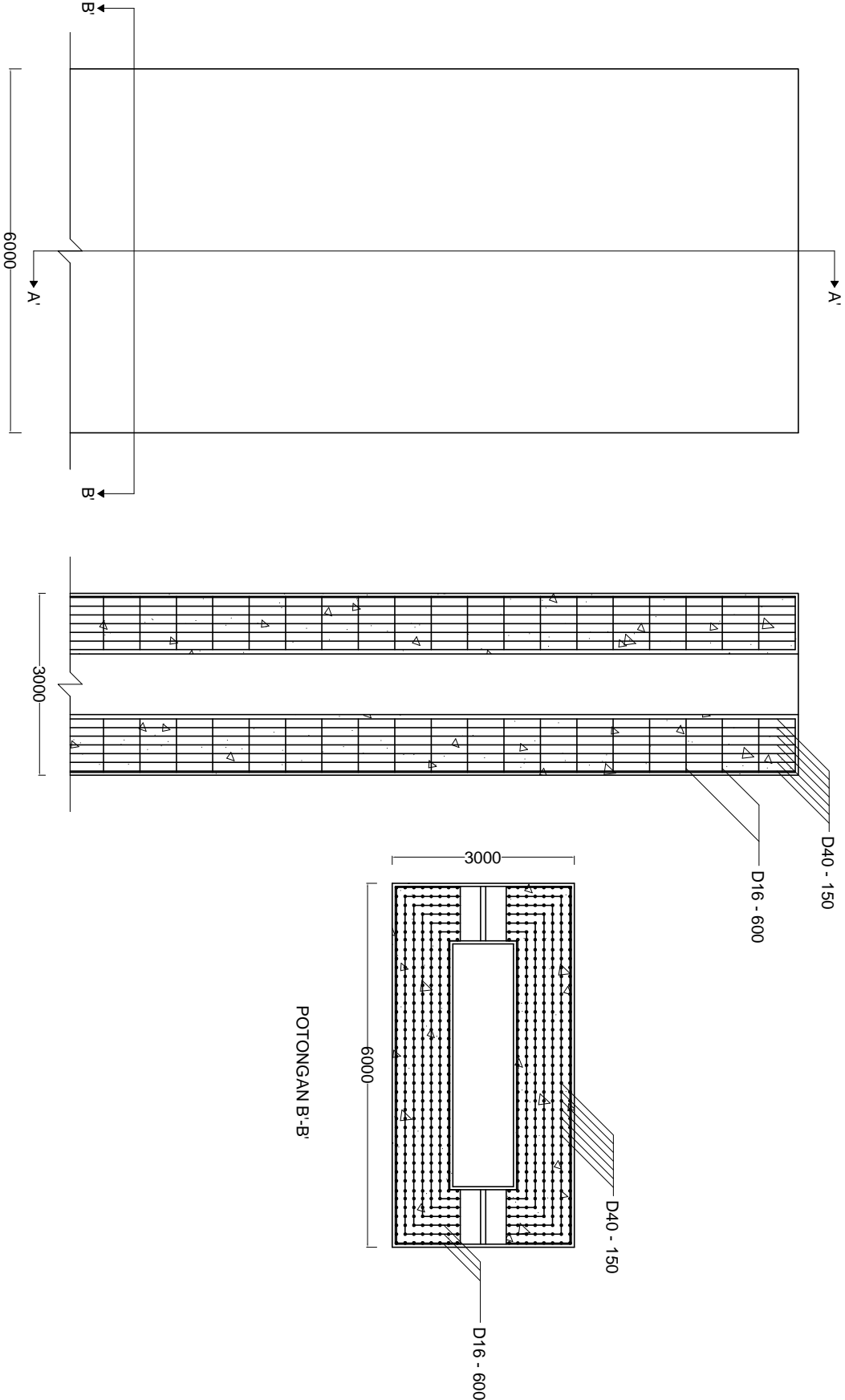
SKALA

1 : 100

NOMOR GAMBAR

NOMOR	JUMLAH
9	11

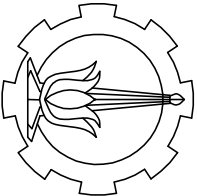
CATATAN



TAMPAK SAMPIING PILON

POTONGAN A-A'

POTONGAN B-B'



PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan Sungai Brantas Pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono Menggunakan Sistem *Cable-stayed* dengan *Single Vertica Plane Semi-harp*

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D.

MAHASISWA

Satya Anggraeny
3112100051

JUDUL GAMBAR

DETAIL PILON

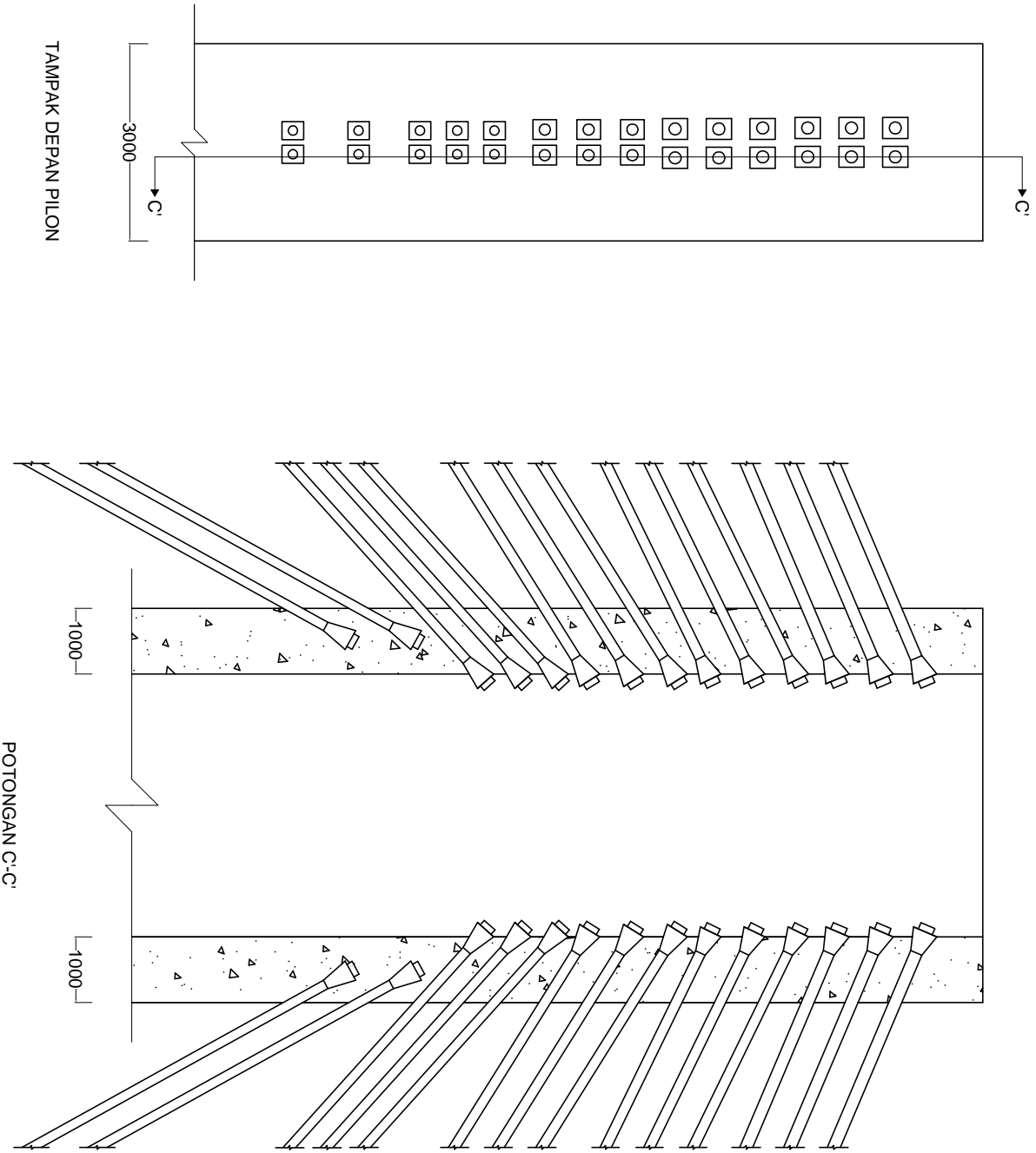
SKALA

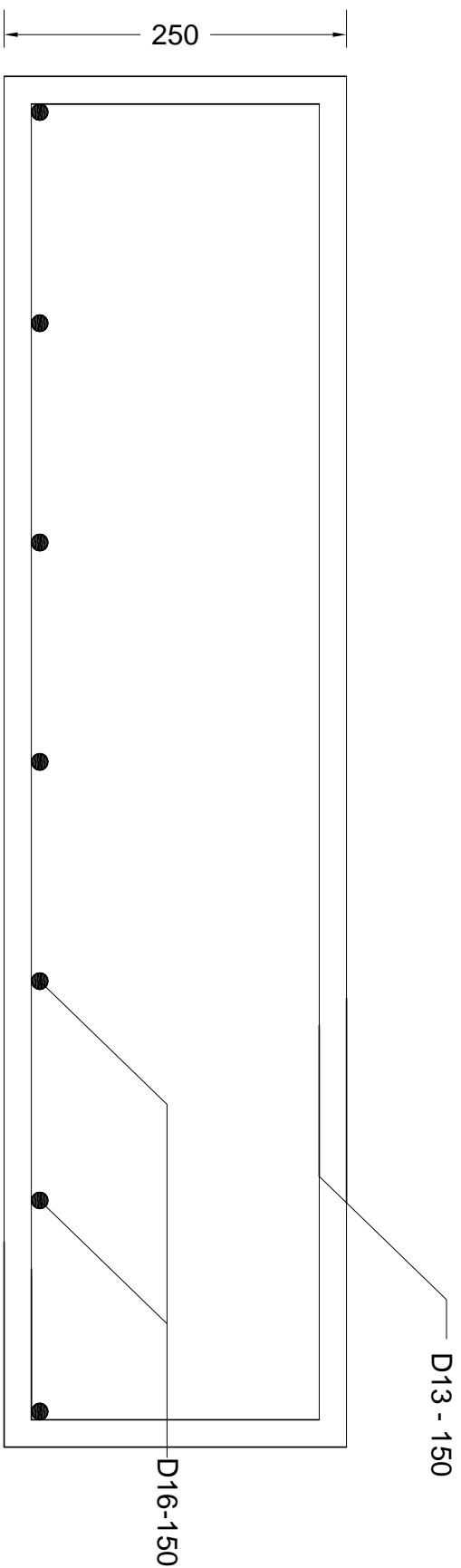
1 : 100

NOMOR GAMBAR

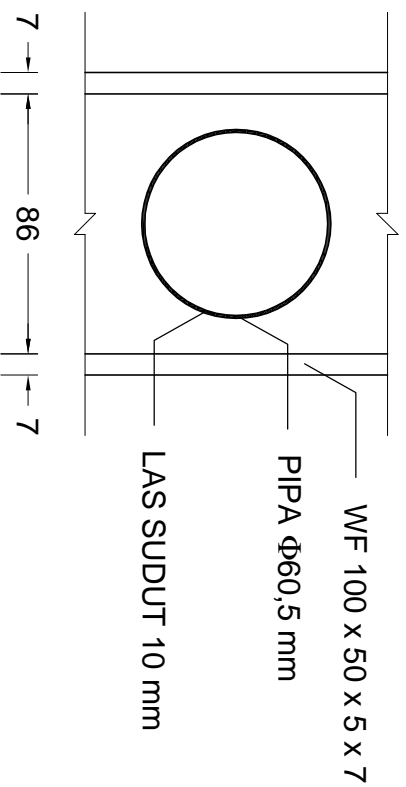
NOMOR	JUMLAH
10	11

CATATAN

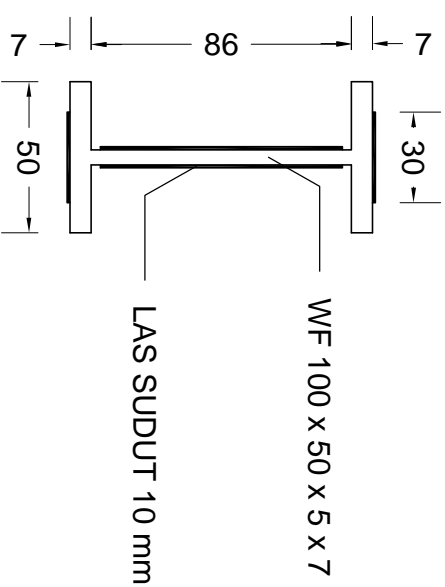




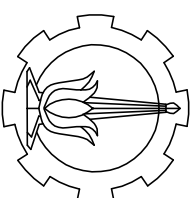
PENULANGAN KERB
SKALA 1:5



SAMBUNGAN LAS SANDARAN
SKALA 1:2,5



SAMBUNGAN LAS TIANG SANDARAN
SKALA 1:2,5



PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

Modifikasi Perencanaan Jembatan Sungai Brantas Pada Ruas Jalan To Solo-Kertosono Menggunakan Sistem *Cable-stayed* dengan *Single Vertica Plane Semi-harp*

DOSEN PEMBIMBING

Endah Wahyuni, S.T., M.Sc., Ph.D

MAHASISWA

Satya Angraeny
31121100051

JUDUL GAMBAR

DETAIL KERB DAN TIANG SANDARAN

SKALA

NOMOR GAMBAR

NOMOR	JUMLAH
11	11

CATATAN

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Satya Anggraeny. Lahir di Kota Malang pada tanggal 12 September 1994. Penulis merupakan anak keempat dari enam bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis yaitu TK Kartika Kota Malang, SDN Bunulrejo 1 Kota Malang, SMPN 3 Kota Malang dan SMAN 3 Kota Malang. Setelah lulus dari SMAN 3 Kota Malang, penulis mengikuti SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) jalur Tulis dan diterima di Jurusan Teknik

Sipil FTSP ITS Surabaya pada tahun 2012. Di Jurusan Teknik Sipil, penulis mengambil judul Tugas Akhir di bidang Struktur.